Quantitative Untersuchungen über Ra- und Th-Gehalt des Bodens zu Halle a. d. S.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen Philosophischen Fakultät

der

Vereinigten Friedrichs-Universität Halle-Wittenberg

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

vorgelegt von

Friedrich Viol
aus Halle a. d. S.

Halle (Saale)
Buchdruckerei Heinrich John
1916.

Referent: Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. E. Dorn.

Tag der mündlichen Prüfung: 22. Januar 1916.

Dem Andenken
meines auf dem Felde der Ehre gefallenen Kameraden
Paul Grigel (I. Komp. I.-R. 36).

Gliederung.

Seite

A. Geschichtliches 7
B. Quantitative Untersuchungen 10
I. Die Hauptversuche 10
a) Methode und Anordnung 10
b) Gang der Hauptversuche 12
c) Theorie der Hauptversuche 13
d) Ergebnisse der Hauptversuche 20
e) Porosität des Bodens 22
f) Versuche mit veränderter Oberfläche 23
II. Versuche mit veränderter Pumpengeschwindigkeit . 26
III. Eichungen 32
a) Die Radiumeichung 32
b) Die Thoriumeichung 35
IV. Versuche an anderen Stellen 40
V. Vergleich der Endergebnisse mit anderen Beobachtungen 42
C. Zusammenfassung der Ergebnisse 44
Anhang: Tabellen und Figuren 46

A. Geschichtliches.

Grundlegend für vorliegende Arbeit sind die Versuche Elsters und Geitels,[1]) die die Tatsache erklären sollen, daß ein in der Atmosphäre isoliert aufgestellter, elektrisch geladener Leiter diese Ladung scheinbar ganz von selbst verliert.

Es ist nun ein in der Geschichte der Physik immerhin nicht alltägliches Zusammentreffen, daß die erwähnten Versuche in eine Zeit fallen, in der diese Wissenschaft in ein völlig neues Entwicklungsstadium trat, nämlich in die Zeit der Entdeckung der Radioaktivität. Dieses neue Gebiet, welches kühn an manchen altehrwürdigen Grundanschauungen rüttelte und sie, wenn auch nicht umstieß, so doch mit neuen Lichtern versah, lüftete auch den Schleier, der bis dahin über dem Mechanismus der elektrischen Zerstreuung gebreitet lag.

Als Pioniere in dieses dunkle Gebiet begaben sich die beiden erwähnten Forscher.[1]) Sie als erste faßten die elektrische Zerstreuung nicht mehr auf als ein Entweichen der Elektrizität an die Luft, sondern vielmehr gerade umgekehrt als eine Neutralisation der isolierten Ladung durch kleine, elektrisch geladene Teilchen, die sich in der Atmosphäre befinden, ihre Ladung an den isolierten Leiter abgeben und so die seinige aufheben. Elster und Geitel nannten diese Teilchen: Träger oder Jonen, den Vorgang Jonisation.

Auch auf die Frage nach dem Woher dieser Träger gaben Elster und Geitel[2]) Auskunft. Sie beobachteten nämlich die elektrische Zerstreuung eines auf hohes Potential geladenen Drahtes in Kellern und Höhlen und fanden sie ungleich höher

[1]) Elster und Geitel: Phys. Zeitschrift **1**, 11, 1899.
[2]) ibid. **3**, 574, 1902.

als in der Atmosphäre. Das mußte nach ihrer Theorie auf eine Zunahme der Jonen schließen lassen, und als Ursache hierfür gaben die beiden Forscher den Gehalt des Bodens an radioaktiver Materie an, der sich bei den Zerstreuungsmessungen in Kellern und Höhlen stärker merkbar macht als in der freien Luft. Daß dieser Schluß auf die Ursache berechtigt war, daß also die radioaktiven Substanzen in den Oberflächenschichten des Erdbodens wirklich eine große Rolle für den elektrischen Haushalt der Atmosphäre spielen, konnte direkt bewiesen werden.

Die Gegenwart von Ra-Zerfallsprodukten in der Luft wurde bewiesen

1. durch die Abklingungskurven der aktiven Niederschläge, die man auf einem Draht sammelte, dadurch, daß man ihn auf ein hohes negatives Potential lud,
2. durch die Trennung der Emanation von der Bodenluft mittels der Lindeschen Luftverflüssigungsmaschine und durch Verwertung des Verdampfungspunktes der Emanation. Dies Verfahren wurde von Ebert[1]) angewendet.

Bumstead,[2]) der Drahtaktivierungen in der Atmosphäre vornahm, untersuchte die Abklingungskurven genauer und fand Abweichungen von den Kurven, die Frau Curie für Ra-Zerfallsprodukte berechnet hatte. Aus seinen Resultaten konnte er auf einen Abkömmling des Th schließen und zwar auf Th-B. Die Anwesenheit von Th-Derivaten wurde also zuerst in der freien Atmosphäre festgestellt, erst ein späterer Versuch von Dadourian[3]) bewies, daß sie, wie zu erwarten, auch im Boden vorkommen. Gleichzeitig lieferte der verfeinerte Versuch Dadourians das Ergebnis, daß auch Aktinium als dritte radioaktive Muttersubstanz bei den elektrischen Vorgängen der Atmosphäre seine Rolle spielt. Damit war die qualitative Seite der Untersuchungen über unser Gebiet bis zu einem gewissen Abschluß gebracht worden.

Die ersten quantitativen Untersuchungen stammen ebenfalls von Elster und Geitel. Sie untersuchten den Ra-Gehalt von Mineralien nach Methoden chemischer Natur,

[1]) Ebert: Ber. d. Bayr. Ak. d. Wiss. München **33**, 133, 1903.
[2]) Bumstead: Americ. Journ. of Sc. **18**, 1, 1904,
[3]) Dadourian: Phys. Zeitschrift **6**, 98, 1905.

und zwar benutzten sie die Eigenschaft von $BaSO_4$, das beim Ausfällen mittels H_2SO_4 aus salzsaurer Lösung radioaktive Materie mitreißt. Umfassende Untersuchungen an vielen Gesteinsproben haben Strutt[1]) und Joly[2]) angestellt. Als Vergleichssubstanz wurden Uransalze aus älteren Urangesteinen benutzt unter Zuhilfenahme des bekannten konstanten Verhältnisses Uran: Radium in all diesen Gesteinen. Verglichen wurden die Emanationsmengen, die durch Kochen aus dem gelösten Gestein entbunden wurden, während Eve[3]) die Stärke der γ-Strahlungen vergleicht. Auf den Gehalt an Th sind die Mineralien hauptsächlich von Blanc[4]) untersucht worden. Dieser Forscher ermittelte ebenfalls den Gehalt der Oberflächenschichten der Erde an Th. Als Vergleichssubstanz benutzte er das bestemanierende Th-Produkt: $ThCl_4$. Seine Versuche beziehen sich auf die Gartenerde Roms.[5])

Joly[6]) hat nicht nur den Gehalt der Oberflächenschichten an Th, sondern auch an Ra festgestellt.

Die Ergebnisse von Strutt, Blanc und Joly sind am Schluß dieser Arbeit angegeben und zum Vergleich herangezogen worden.

Meine Untersuchungen sind nach dem Vorgange eines amerikanischen Forschers Sanderson ausgeführt und beziehen sich ebenfalls auf den Gehalt des Bodens an Ra und Th. Auf den Nachweis des Aktiniums wurde verzichtet.

---

[1]) Strutt: Proc. Roy. Soc. A. **77**, 474, 1906.
[2]) Joly: Phil. Mag. **22**, 134, 1911.
[3]) Eve: Sill. J. (4), **22**, 4, 1906.
[4]) Blanc: Rendic. R. Accad. dei Lincei (5), **18**, I. 241, 1909.
[5]) ibid. **27**, 101, 1908.
[6]) Joly: Phil. Mag. (6), **18**, 140, 1909.

B. Quantitative Untersuchungen.

I. Die Hauptversuche.

a) Methode und Anordnung.

Sanderson[1]) geht bei seinen Untersuchungen auf einen alten Versuch von Elster und Geitel[2]) zurück. Die beiden Forscher saugten mit einer Wasserstrahlpumpe einen starken Bodenluftstrom durch ein in den Boden getriebenes Rohr und durch eine Zerstreuungsglocke. An einem Exnerschen Elektroskop mit aufgesetztem Zerstreuungszylinder wurde die erhöhte ionisierende Wirkung der Luft gemessen.

Sanderson leitete den Strom durch ein Gefäß, das mit zentraler Elektrode versehen war. Diese Elektrode wurde auf — 300 Volt geladen und mit einem Goldblattelektroskop direkt verbunden. So konnte man zugleich messen und aktivieren. Meine Anordnung erfuhr demgegenüber kleine Änderungen. Sie sei kurz beschrieben.

Mit einem starken Erdbohrer wurde ein 1,70 m tiefes, etwa 2,5 cm weites Loch in den Fußboden des Kellers XII im Physikalischen Institut zu Halle a. S. getrieben. Die Oberfläche bestand aus gelben Ziegeln, das Erdreich war aufgefüllte Gartenerde. In dieses Loch wurde ein etwa 2,5 cm weites, etwa 1,70 m langes Eisenrohr mit einem Hammer hineingeschlagen. Es saß vollkommen fest im Erdreich. Die innere Weite des Rohres betrug 2,3 cm. Am unteren Ende befand sich ein Kranz von Löchern, die nicht etwa wagerecht in das Rohr hineingetrieben worden waren, sondern die sich von außen nach

[1]) Sanderson: Phys. Zeitschrift **13**, 142, 1912.
[2]) Elster und Geitel: Phys. Zeitschrift **3**, 574, 1902.

innen zu etwas senkten, um das Verstopfen der Öffnungen beim Einschlagen des Rohres zu vermeiden. Da beim Messen der Th-Emanation ihre kleine Halbzeit, also ihr schnelles Zerfallen, zu berücksichtigen ist, mußte dafür gesorgt werden, daß beim Ansaugen die Bodenluft möglichst schnell durch das Rohr in die Apparate kam, um wenig Verlust durch Abklingen der Th-Emanation zu haben. Deshalb mußten die Volumina der Teile des Apparates zwischen Elektrometer und Erdrohr möglichst klein gewählt werden. Das Verkleinern des Rohrvolumens selbst wurde einfach dadurch erzielt, daß man nach dem Vorgange Joly s[1]) einen vollen Eisenstab von etwa 130 cm Höhe und 1,8 cm Dicke in das Rohr hineinstellte. Von dem Rohr ging die Bodenluft durch einen mit Gummistopfen versehenen Glashahn, der fest auf dem Rohre saß, ferner durch ein etwa 1 m langes, 0,8 cm weites Bleirohr über ein mit $CaCl_2$ gefülltes U-Rohr (zum Trocknen) und über einen Glaswollebehälter (zum Zurückhalten von Staubteilchen) in den Kondensator, von den gebräuchlichen Dimensionen. ($h = 30$ cm, $d = 11$ cm). Zwischen Boden und Kondensator wurde bei den Hauptversuchen auch eine Erdmannsche Waschflasche mit ein wenig konzentrierter H_2SO_4 (ebenfalls zum Trocknen der Bodenluft) eingeschaltet. Zuerst trat also die Bodenluft in die Waschflasche, erst dann in das $CaCl_2$-Rohr, da sonst das $CaCl_2$ sich zu bald verflüssigt hätte. Die innere Elektrode des Kondensators wurde unmittelbar in Verbindung mit einem Exnerschen Elektroskop in der von Elster und Geitel angegebenen Form gebracht. Der mit 3 Stützen versehene Kondensator wurde gewissermaßen auf das Elektroskop gesetzt. Verbunden wurde die zentrale Elektrode ebenso wie der konzentrisch um sie verlaufende Schutzring mit dem Pb-Pol mehrerer hintereinander geschalteter Batterien kleiner Akkumulatoren von Klingelfuß, deren positiver Pol über einen Graphitwiderstand zur Erde abgeleitet wurde. Die Außenwand des Kondensators war ebenso wie das Gehäuse des Elektroskops gleichfalls geerdet. Die zentrale Elektrode wurde auf — 200 Volt geladen. Die Zuführung, das An- und Ablegen, geschah durch einen seitlich angebrachten Metallstift, der von den Teilen des

[1]) Joly: Dublin Proc. Roy. Soc. 1911, August.

Kondensators durch Bernstein isoliert war und der zur Handhabung mit einem isolierenden Hartgummigriff versehen wurde.

Die Verbindung Elektroskop — zentrale Elektrode war durch eine Hartgummischeibe und durch den in die Zimmerluft hineinragenden Schutzring geschützt vor der Einwirkung derjenigen festen radioaktiven Beschläge, die nicht aus der Bodenluft, sondern aus der Zimmerluft stammen. Ihre Wirkungen würden sich über die der Bodenluft lagern und so die Versuche beeinträchtigen.

Vom Kondensator ging es dann über einen Junkersschen Gasmesser zu einer kräftig wirkenden Wasserstrahlpumpe von der Firma Gebr. Körting, Hannover. Die Pumpe schaffte bequem $5 \frac{l}{min.}$

Durch Figur I o im Anhang wird die Anordnung dargestellt.

b) Gang der Hauptversuche.

Vor jedem Versuch wurde durch eine einmalige Beobachtungsreihe die „natürliche Zerstreuung“ bestimmt. Dann wurde der Bodenluftstrom eingeschaltet. Dabei lief die Pumpe mit der Geschwindigkeit von $3 \frac{l}{min.}$ Während des Durchsaugens war die zentrale Elektrode immer mit dem negativen Pol der Batterie verbunden, nur während der ersten $2^1/_2$ Stunden wurde die Verbindung alle 10 min. gelöst und der Abfall pro min. festgestellt. Auf folgende Weise: In der Minute, in der der Abfall beobachtet wurde, wurde alle 10 sec. am Elektroskop abgelesen und in üblicher Weise das Mittel genommen, nämlich durch Kombination

des Wertes nach 0 sec. mit dem Werte nach 30 sec.,
„ „ „ 10 „ „ „ „ „ 40 „
„ „ „ 20 „ „ „ „ „ 50 „
„ „ „ 30 „ „ „ „ „ 60 „

Dann wurde der Mittelwert der Differenzen genommen und durch Multiplikation mit 2 der Abfall pro min. bestimmt.

Nach den ersten $2^1/_2$ Stunden lief der Luftstrom noch etwa 44 Stunden weiter, in dieser Zeit konnten die Ablesungen in

größeren Abständen (durchschnittlich etwa 11 Stunden) erfolgen. Nach etwa 45 Stunden wurde der Strom der Bodenluft mit einer vollen Minute abgestellt und sofort die Hähne des Kondensators geschlossen. Während der nächsten 4 min. wurde von Minute zu Minute abgelesen. Dann wurden die Hähne geöffnet, die Verbindung mit der Bodenluft gelöst und 3 min lang ein kräftiger Zimmerluftstrom durch den Apparat getrieben, der hier die Bodenluft beseitigte. Darauf wurden die Hähne des Kondensators wieder geschlossen. Die Verbindung mit der Batterie wurde ebenfalls aufgehoben, und es wurde während der ersten $2^1/_2$ Stunden nach dem Durchtreiben der Zimmerluft alle 10 min., später in größeren Abständen (etwa 11 Stunden), die zentrale Elektrode auf das Potential von — 200 V. geladen, damit der Abfall pro min. beobachtet werden konnte. Nach 45 Stunden war der Versuch beendet. Er dauerte also im ganzen etwa 4 — 5 Tage.

c) Theorie der Hauptversuche.

Was wurde durch die Hauptversuche beobachtet?

Die Aktivität, die zu Beginn des Durchsaugens am Elektrometer gemessen wurde, rührte her von Ra-Emanation + Th-Emanation. Während der ersten $2^1/_2$ Stunden bildete sich der aktive Niederschlag von Ra - A,B,C auf dem Drahte. Nach 3 Stunden etwa sind diese Zerfallsprodukte mit der Ra-Emanation im Gleichgewicht. Während dieser Zeit hat auch der Th - Beschlag [1]) angefangen sich zu bilden, allerdings langsam. Er ist etwa erst nach 45 Stunden im Gleichgewicht mit der Th-Emanation. Nach dieser Zeit, d. h. zur Beendigung des Durchsaugens, befinden sich also folgende Produkte im Kondensator:

Ra - Emanation, Th - Emanation,
Ra - A,B,C Th - A,B,C,

und zwar stehen die festen Zerfallsprodukte im Gleichgewicht mit ihren gasförmigen Muttersubstanzen. Die Konzentration

[1]) Anmerkung: Die Bezeichnungen für den Th-Beschlag sind in vorliegender Arbeit dieselben wie in der 11. Auflage vom Jahre 1910 des Lehrbuchs der praktischen Physik von F. Kohlrausch, erst später sind sie mit neueren Forschungsergebnissen in Einklang gebracht worden (vgl. Anm. S. 19).

dieser letzteren wurde für die Zeit des Durchsaugens als konstant angenommen; mit anderen Worten: es wurde durch die Arbeit der Pumpe immer ebensoviel Ra-Emanation + Th-Emanation herangeschafft als weggeführt wurde. Die Richtigkeit dieser Annahme konnte durch die Untersuchung bestätigt werden, d. h. nach 45 Stunden Pumpenarbeit hatte sich der Gehalt der Bodenluft an Ra-Emanation + Th-Emanation nicht etwa erschöpft, sondern noch nach dieser Zeit enthielten gleiche Volumina Bodenluft dieselbe Menge Ra-Emanation + Th-Emanation wie zu Beginn des Versuches. Dies Ergebnis ist nicht selbstverständlich, es mußte daher bestätigt werden. Es gilt für unsere Hauptversuche und ist in Teil Id erläutert. Versuche unter anderen Bedingungen (vgl. Versuche mit veränderter Oberfläche) lieferten andere Ergebnisse.

Nach 45 Stunden war so jedenfalls der Maximalbetrag aller in Betracht kommenden Substanzen erreicht, z. B. war Th-B, das Produkt mit der größten Halbzeit von etwa 11 Stunden, auf $\frac{15}{16}$ seines Maximalbetrages gestiegen.

Deshalb wurde nun die Pumpe abgestellt. Sofort klang dann schnell die Th-Emanation ab. (Halbzeit 53 sec.) Nach 4 min. war sie bis auf etwa $^1/_{16}$ ihres Maximalbetrages, also praktisch bis auf Null, gefallen. Nach dem Abklingen der Th-Emanation wurde die Bodenluft ausgetrieben und im Innern des Kondensators durch Zimmerluft ersetzt. Dadurch war also mit der Th-Emanation auch die Ra-Emanation beseitigt worden. Infolgedessen sank die Aktivität sofort sprunghaft, und deshalb konnte nun das Abklingen von Ra-A,B,C und Th-A,B,C beobachtet werden. Ra-A,B,C war nach etwa 3 Stunden, Th-A,B,C nach etwa 45 Stunden verschwunden.

Zur besseren Übersicht der Berechnung eines Hauptversuches folge eine schematische Skizze vom Gange eines solchen. (Vgl. dazu die Ergebnisse der Beobachtungen in den Kurven von Fig. I a des Anhangs).

Man beachte das Wechseln der Einheit auf der Abscissenachse in folgender Figur.

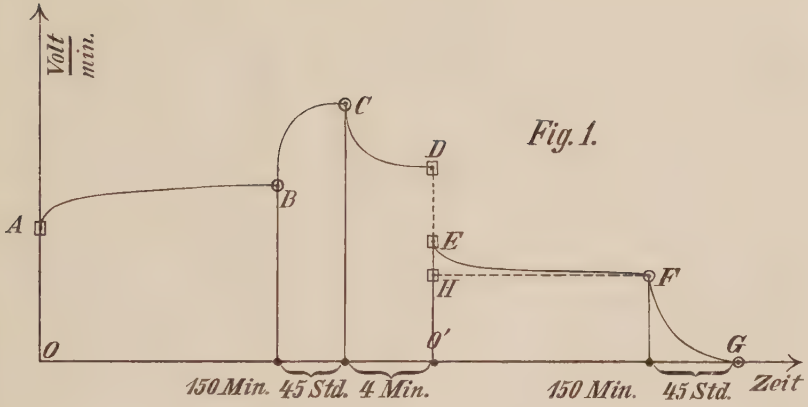


Fig. 1.

Bei C wird der Bodenluftstrom unterbrochen.

Bei D wird die Bodenluft, damit die Ra-Emanation, herausgetrieben.

Es entspricht:

O A der vereinigten Aktivität von Ra-Eman. + Th-Eman.,

A B dem Anstieg, hauptsächlich herrührend von Ra-A, B, C,

B C dem Anstieg, hauptsächlich herrührend von Th-A, B, C,

C D dem Abklingen der Th-Emanation,

D E dem Beitrag der Ra-Emanation,

E F dem Abklingen, hauptsächlich herrührend von Ra-A, B, C,

F G dem Abklingen, hauptsächlich herrührend von Th-A, B, C.

Die Richtigkeit der Beobachtungen kann bestätigt werden durch Vergleich mit berechneten Kurven, die für den Zerfall von radioaktiven Substanzen gelten. Die Formeln dieser Kurven sind im folgenden angegeben und begründet worden. Alle diese Formeln über den radioaktiven Zerfall sind erst dann mit unsern Beobachtungen, die ja den Abfall in $\frac{\text{Volt}}{\text{min.}}$ liefern, vergleichbar, wenn wir die berechneten Werte mit konstanten Faktoren multiplizieren, d. h. die berechneten Ordinatenwerte so über- oder unterhöhen, daß die entstehende „Idealkurve“ in das Gebiet der Beobachtungen fällt, ausgezeichnete Punkte durch mehrfache

Beobachtungswerte gestützt werden und dann die einzelnen Beobachtungen in die berechneten Kurven eingetragen werden konnten. So ist die Kurve des Versuches II in Figur Ia des Anhangs entstanden.

Ehe wir nun an die Berechnung der Idealkurve gehen, folge zunächst eine allgemeine Bemerkung, die Zeichnung und Berechnung der Kurve sehr vereinfachen wird.

Da der Anstieg der Aktivität in wohlverstandenem Sinne symmetrisch dem Abfall verläuft, so können wir uns auf die Betrachtung des Abfalls beschränken, d. h. auf den Teil EG der Figur 1 im Text.

In diesem Teil ist FG eine reine Exponentialkurve entsprechend der Halbzeit für Th-B (etwa 11 Std.). Ihre Zeichnung bereitet also keine Schwierigkeiten.

Der Teil EF rührt her

1. von dem Zerfall von Ra-A, B, C und
2. von dem anfänglichen Zerfall von Th-A, B, C.

Dieser Teil entspricht also der Übereinanderlegung der radioaktiven Wirkungen von Zerfallsprodukten zweier verschiedener Muttersubstanzen.

Wir betrachten zunächst den Anteil der Aktivität der Ra-Zerfallsprodukte.

Für den Zerfall von Ra-A, B, C gilt die Formel:

$J = ae^{-\lambda_1 t} + be^{-\lambda_2 t} + ce^{-\lambda_3 t}$. Hierin ist:

J die gemessene Aktivität,

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ die Abklingungskonstanten für Ra-A, B, C,

a, b, c sind Größen, die sich aus den $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ und aus drei anderen, nämlich: k_1, k_2, k_3 zusammensetzen. Diese

k_1, k_2, k_3 sind sogenannte Aktivitätsfaktoren, mit denen die Zahl der zu einer Zeit t sich umwandelnden Atome einer jeden der drei radioaktiven Substanzen Ra-A, B, C der Reihe nach multipliziert werden muß, um ihre ionisierende Wirkung zu erhalten. Die Werte von k_1, k_2, k_3 hat H. W. Schmidt[1]) bestimmt bis auf einen konstanten Faktor. Er findet für ihr Verhältnis: $k_1 : k_2 : k_3 = 6 : 1 : 8$.

[1]) H. W. Schmidt: Ann d. Phys. 1906, 21, 627.

Obwohl ich andere Apparate verwandte als dieser Forscher, habe ich seine Werte benutzt.

Ich stütze mich dabei auf eine Beobachtung Gubes.[1]) Dieser benutzte dieselben Gefäße wie ich und gelangte zu den Werten $k_1 : k_2 : k_3 = 5{,}25 : 1 : 7$. Aber er konnte die Bemerkung H. W. Schmidts bestätigen, daß die Werte wegen des Spielraumes, den die Versuchsfehler lassen, schwanken können; deshalb verwandte er ebenfalls die Schmidtschen Werte für die Rechnung.

Unter Benutzung derselben Werte für $k_1 : k_2 : k_3$ ergeben sich dann auch dieselben Beträge für a, b, c, wobei verwertet wurde:

$$\lambda_1 = 3{,}85 \cdot 10^{-3}\ \text{sec.}^{-1} \text{ für Ra A,}$$
$$\lambda_2 = 4{,}33 \cdot 10^{-4}\ \text{sec.}^{-1} \text{ für Ra B,}$$
$$\lambda_3 = 5{,}93 \cdot 10^{-4}\ \text{sec.}^{-1} \text{ für Ra C.}$$

H. W. Schmidt[2]) gibt an:

$$a = 6{,}06$$
$$b = 34{,}60$$
$$c = -25{,}65$$

Allgemein drücken sich die Konstanten a, b, c folgendermaßen aus:

$$a = k_1 + \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} k_2 + \frac{\lambda_2 \lambda_3}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1)} k_3,$$

$$b = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} k_2 + \frac{\lambda_1 \lambda_3}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2)} k_3,$$

$$c = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_3)} k_3.$$

Diese Größen ergeben sich, wenn wir beachten, daß Ra-Emanation (und auch Th-Emanation) so lange mit ihren Umwandlungsprodukten A, B, C zusammengelassen worden sind, bis diese ihren Maximalbetrag, der dem Gleichgewichte entspricht, erreicht haben. Erst dann wurden ja die Muttersubstanzen entfernt. Unser Fall entspricht dem, der von Dorn im Lehrbuch der praktischen Physik von Kohlrausch, 11. Auflage 1910 auf S. 652 unter III angeführt worden ist.

---

[1]) Gube: Diss. Halle a. S. 1910.

[2]) H. W. Schmidt: Ann. d. Phys. IV. 21. 1906, 661, Tab. 10, für $\Theta = \infty$.

Für das Abklingen der Aktivität, von Ra - A, B, C, ergibt sich so bis auf einen konstanten Faktor:

$$J_t = 6{,}06\, e^{-\lambda_1 t} + 34{,}60\, e^{-\lambda_2 t} - 25{,}65\, e^{-\lambda_3 t}.$$

Dazu tritt nun noch die Aktivität des Th - Niederschlages. Ra - A, B, C ist nach $2^1/_2$ Stunden für meine Versuche praktisch zu Null geworden. Das Abklingen des Th - Niederschlages geschieht nach dieser Zeit nach einem Exponentialgesetz mit der Halbzeit von Th - A, eine Behauptung, die weiter unten bewiesen wird. FG (vgl. Fig. 1 im Text) wird dementsprechend gezeichnet. Die Ordinaten des Teiles EF entsprechen der vereinigten Aktivität von Ra - A, -B, -C + Th - A, -B, -C. Der Betrag, der durch den Zerfall von Ra - A, -B, -C zu diesen Ordinaten geliefert wurde, ist schon betrachtet worden.

Der Thorniederschlag liefert einen Anteil entsprechend der Formel:

$$J_{Th_t} = J_{Th_0}\left[\frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t}\right].$$

Gube[1]) gibt diese Formel an, die von ihm angestellten Überlegungen gelten auch für uns, daß nämlich Th - C von sehr schwacher Wirkung ist und sehr schwer von Th - B zu trennen, daß ferner die Wirkung der weichen β - Strahlen von Th - A sehr gering ist. Deshalb hat er Th - A als nichtstrahlend, Th - C als nicht vorhanden angenommen.

λ_1, λ_2 sind die radioaktiven Konstanten für Th-A u. -B.

Aus der eben angegebenen Formel erkennt man übrigens die Richtigkeit der vorhin über das Abklingen des Th-Niederschlages aufgestellten Behauptung. Es ist nämlich:

$$\lambda_1 = 1{,}82 \cdot 10^{-5} \text{ und } \lambda_2 = 2{,}1 \cdot 10^{-4} \text{ (sec.}^{-1}\text{)}$$

d. h. $\lambda_1 < \lambda_2$ oder $e^{-\lambda_1} > e^{-\lambda_2}$.

Ist aber der Unterschied, wie in unserem Falle, zwischen den λ groß, so kann für einigermaßen große t $e^{-\lambda_2 t}$ gegenüber $e^{-\lambda_1 t}$ vernachlässigt werden, sodaß sich nach einiger Zeit die Formel auf das erste Glied der rechten Seite beschränkt, mir also das rein exponentielle Abklingen von Th-A darstellt.

[1]) Gube, loc. cit. S. 17.

Für unsre Versuche ergibt sich der Teil der Th-Abfallskurve, der EF entspricht (Fig. 1 im Text), praktisch als gerade Linie, die man von F etwas geneigt gegen die Abscissenachse zieht bis zum Punkte H (punktierte Gerade in der Fig. 1). Was in dieser Figur oberhalb HF liegt, entspricht dem Zerfall von Ra-A, -B, -C nach der angegebenen Formel:

$$J_t = 6{,}06\ e^{-\lambda_1 t} + 34{,}60\ e^{-\lambda_2 t} - 25{,}65\ e^{-\lambda_3 t}.$$

Dieser Teil der Figur wurde aus der genauen Kurve des Versuches II der Figur Ia im Anhang für sich herausgegriffen und

Bemerkung: Die ausgezogene Kurve verbindet die berechneten Werte von J (in Abständen von $\Delta t = 10$ Min. berechnet).
Die durch Kreuzchen bezeichneten Punkte sind solche der Beobachtung.

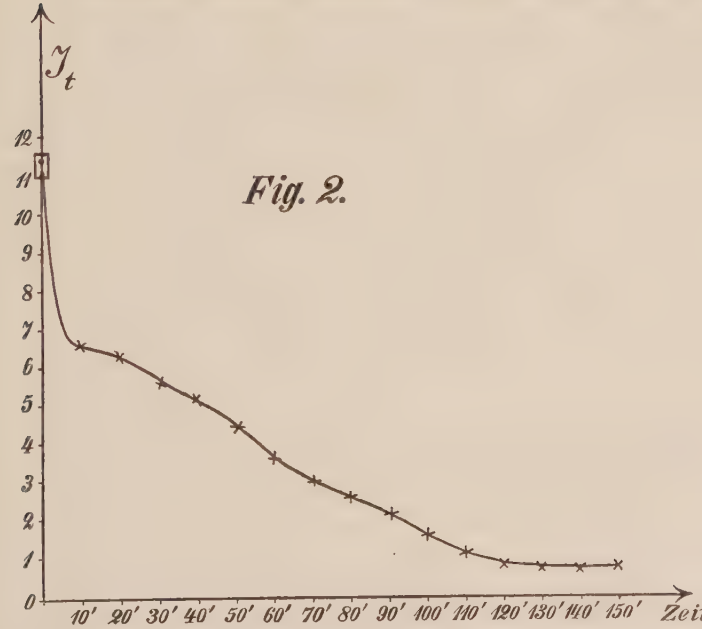


Fig. 2.

in Figur 2 im Text mit der Beobachtung verglichen, die gute Übereinstimmung lieferte.

In dieser Weise wurde die Kurve für das Abklingen der Aktivität gezeichnet[1]).

[1]) Anmerkung: In neuerer Zeit hat sich bei der Betrachtung des Th-Niederschlags eine andere Auffassung geltend gemacht, die zwar das Wesen unserer Auseinandersetzungen nicht berührt, aber angegeben werden muß, weil

Der Aktivitätsanstieg (AC in Fig. 1 des Textes) entspricht, wie schon erwähnt, dem absteigenden Aste. Zum Zeichnen des ansteigenden Teiles wurden einfach die für das Abklingen berechneten Werte benutzt und von C, bezw. der Parallelen durch C zur Abscissenachse nach unten hin abgetragen. Der Teil AB entspricht dann dem Anstieg von Ra-A, -B, -C und dem Anfangsanstieg von Th-A, -B, -C, der Teil BC der Figur dem rein exponentiellen weiteren Anstieg von Th-A, -B, -C. In der Mitte der Fig. 1 des Textes findet sich der Teil CD. Er entspricht dem exponentiellen, raschen Abklingen von Th-Emanation mit der Halbwertzeit von 53 Sekunden.

Diese Abklingungskurven leisten zweierlei:

1. sie analysieren gewissermaßen qualitativ die Zerfallsprodukte,
2. sie liefern die quantitativen Ergebnisse zur Lösung unserer Aufgabe, und zwar entspricht
   a) die Differenz der Ordinaten von C und D dem Anteil der Th-Emanation,
   b) die Differenz der Ordinaten von D und E dem Anteil der Ra-Emanation.

d) Ergebnisse der Hauptversuche.

Aus Figur I a und den Tabellen I a im Anhang ergibt sich folgendes:

1. Die gemachte Annahme, wonach Ra-Emanation und Th-Emanation in ihrer Konzentration während des Durchsaugens konstant bleiben, also stets denselben Beitrag zur Aktivität liefern, ist gültig.

---

sie jetzt die herrschende ist. Nach ihr folgt zunächst auf die Th-Emanation ein Produkt von sehr kurzer Dauer, das neue Th-A, mit α-Strahlung. Seine Halbzeit beträgt 0,14 Sekunden. Daher spielt es bei unsrer Betrachtung keine Rolle und scheidet für uns aus. Darauf folgt das neue Th-B, es ist das alte Th-A. Als weitere Produkte ergeben sich Th-C_1, Th-C_2 und Th-D. Die beiden letzteren sind Produkte von kurzer Dauer, die mit unsern Hilfsmitteln nicht von Th-C_1 zu trennen sind.

Um daher im Einklang mit den neuesten Forschungsergebnissen zu bleiben, setzen wir in unsern Erörterungen einfach für das alte Th-A das neue Th-B und für das alte Th-B, vereinigt mit dem alten Th-C, das neue Th-C_1, vereinigt mit Th-C_2 und Th-D.

Um sich davon zu überzeugen, vergleiche man die Aktivität von Ra-Emanation + Th-Emanation zu Anfang und nach 45 Stunden, am Ende des Durchsaugens.

Die Anfangsaktivität von Ra-Emanation + Th-Emanation wird dargestellt durch die Anfangsordinate,

die Aktivität von Ra-Emanation + Th-Emanation nach 45 Stunden wird dargestellt durch die Differenz der Ordinaten in C und E.

Es ergibt sich:

a) für die Anfangsaktivität bei

Versuch	I	II	III	IV	V	VI
Anfangs-ordinate	25,28	23,20	21,60	24,40	25,20	24,00

im Mittel also: 23,95 $\frac{\text{Volt}}{\text{min.}}$,

b) für die Endaktivität bei

Versuch	I	II	III	IV	V	VI
Ordinate in C	44,72	42,40	41,28	41,80	44,40	43,20
„ „ E	22,40	20,00	18.32	20,00	21,60	19,20
Differenz der Ordinaten	22,32	22,40	22,96	21,80	22,80	24,00

im Mittel also: 22,71 $\frac{\text{Volt}}{\text{min.}}$.

Man sieht, daß die Aktivitäten von Ra-Emanation + Th-Emanation zu Anfang und am Ende des Durchsaugens nicht beträchtlich abweichen, bei Versuch VI besteht sogar genaue Übereinstimmung.

2. Es ergeben sich die Beiträge, die Ra-Emanation und Th-Emanation zur Aktivität liefern, und die später mit den Emanationen aus Stoffen von bekanntem Ra- bezw. Th-Gehalt verglichen werden.

Aus Fig. I a und Tabelle I a ergibt sich folgender kleiner Auszug:

a) für Ra-Emanation.

Versuch	I	II	III	IV	V	VI
Ordinate in D	40,40	37,20	35,72	37,60	39,92	37,60
„ „ E	22,40	20,00	18,32	20,00	21,60	19,20
Beitrag der Ra-Emanation	18,00	17,20	17,40	17,60	18,32	18,40

Mittelwert für Ra-Emanation: 17,820 $\frac{\text{Volt}}{\text{min.}}$.

b) für Th-Emanation.

Versuch	I	II	III	IV	V	VI
Ordinate in C	44,72	42,40	41,28	41,80	44,40	43,20
„ „ D	40,40	37,20	35,72	37,60	39,92	37,60
Beitrag der Th-Emanation	4,32	5,20	5,56	4,20	4,48	5,60

Mittelwert für Th-Emanation: 4,893 $\frac{\text{Volt}}{\text{min.}}$.

e) Porosität des Bodens.

Um den Gehalt des Bodens an Ra und Th festzustellen, mußte eine Bestimmung der Porosität vorgenommen werden, d. h. es mußte untersucht werden, wieviel Kubikzentimeter Luft auf das Kubikzentimeter Boden kommen.

Verfahren wurde folgendermaßen:

Der Rand eines etwa 30 cm langen, hohlen Messingzylinders von ungefähr 2,1 cm Durchmesser, wurde eingezackt und dann etwa 15 cm in das lockere Erdreich getrieben. Die Zähne wurden angebracht, um beim Drehen die Konstitution des Bodens möglichst wenig zu ändern. Danach wurde der Zylinder, der nun mit Kellererde angefüllt war, vorsichtig herausgezogen und mittels einer feinen Säge in Stücke von etwa 4—5 cm Länge vorsichtig zersägt. Durch das Volumenometer nach Paalzow wurde dann sowohl das Volumen der mit Erde gefüllten Zylinder als auch das Volumen der leeren Zylinder bestimmt. Die Differenz der Volumina ergab das Volumen der den Hohlraum des Zylinders

anfüllenden Kellererde. Nun wurde andrerseits das Volumen des Zylinderhohlraumes bestimmt. Das geschah durch Ausmessung des Messingzylinders mit dem Millimetermaßstab und dem Dickenmesser und durch Anwendung der Zylinderformel.

Subtrahierte man nun von dem Volumen des Zylinderhohlraumes das Volumen der diesen Hohlraum anfüllenden festen Erdkörner, so erhielt man das Volumen Luft zwischen den Erdkörnern, welches in der Menge Bodenerde steckte, deren Volumen ebenso groß war wie das Volumen des Zylinderhohlraumes. Die gesuchte Porosität ist dann der Quotient aus dem Luftvolumen und dem Hohlraumvolumen. Aus vier Versuchen ergab sich P, die Porosität, zu 0,425. Die einzelnen Beobachtungen wichen bereits in den Hundertsteln ab. Das ist nicht verwunderlich, denn es treten bei dieser verhältnismäßig rohen Methode Fehlerquellen auf.

1. Durch das Herausziehen aus dem Boden und durch das Zersägen des Zylinders wird trotz größter Vorsicht doch stets die Konstitution des Bodens geändert, eine Fehlerquelle, die also nie ganz auszuschalten ist.
2. Durch den Wasserdampfgehalt der Erde werden die Messungen am Volumenometer beeinträchtigt. Diese Fehlerquelle wurde dadurch ausgeschaltet, daß man die mit Erde gefüllten Zylinder vor der Untersuchung im Volumenometer ungefähr einen Tag lang trocknete.

Die Ungenauigkeiten in der Bestimmung von P werden in das Endergebnis dieser Arbeit mit hineingehen. Daher habe ich am Ende nicht nur den Gehalt des Bodens an Ra und Th ermittelt, sondern zugleich den Ra- und Th-Äquivalentwert für die Bodenluft mit angegeben. Diese Angaben sind dann natürlich frei von der Ungenauigkeit in der Bestimmung von P.

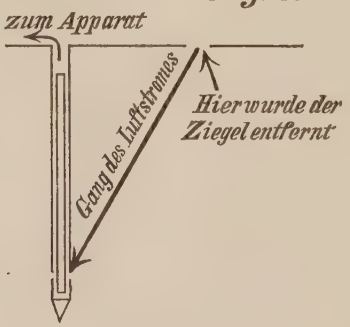
Ähnlich wie bei den Hauptversuchen habe ich den bei der Th-Eichung benutzten Sand auf seine Porosität hin untersucht. Es ergab sich aus drei Beobachtungen der Wert 0,465.

f) Versuche mit veränderter Oberfläche.

Die Voraussetzung, deren Richtigkeit durch die Hauptversuche bestätigt worden war, daß nämlich die Konzentrationen

der Ra-Emanation und der Th-Emanation sich während des Durchsaugens nicht ändern, trifft nur dann zu, wenn die Neubildung dieser beiden Stoffe in demselben Maße erfolgt wie ihre Fortführung. Nun bedarf es zu dieser Neubildung aus Muttersubstanz bei der Ra-Emanation einer bedeutend längeren Zeit als bei der Th-Emanation. Deshalb wird, wenn der Luftstrom nur durch geringe und immer durch dieselben Bodenmassen streicht, die Ra-Emanation bald erschöpft sein, da ja kein Ersatz durch aus andern Bodenluftteilchen frisch herangeschaffte Ra-Emanation erfolgt. Im Gegensatz hierzu wird sich die Th-Emanation wegen ihrer kleinen Halbzeit bald wieder erholen. Um diese Überlegung nachzuprüfen, wurde an der durch Figur 3 im Text

Fig. 3.



bezeichneten Stelle ein Ziegelstein aus dem Kellerfußboden herausgenommen, so daß an dieser Stelle das lockere Erdreich mit der Luft des Kellers in Verbindung stand. Beim Ansaugen der Luft wurde dann natürlich die in der Figur angegebene Richtung bevorzugt.

Die Ra-Emanation der Luftteilchen in dieser Richtung wird sich bald erschöpfen und diese Erschöpfung am Elektrometer merkbar werden, während die Th-Emanation in ihrer Wirkung kaum abnimmt, wegen ihrer fortwährenden schnellen Neubildung durch Zerfall von Muttersubstanz.

Das konnte nun tatsächlich beobachtet werden. Figur I b und Tabelle I b im Anhang geben darüber Aufschluß. Daher die Unregelmäßigkeiten im Anstieg, wegen der Inkonstanz der Ra-Emanation, andrerseits der regelmäßige Verlauf der Kurven

beim Abstieg und vor allem beim Abklingen der Th-Emanation. Diese lieferte ungefähr dieselben Werte zum Aktivitätsbeitrag wie bei den Kurven der Figur I a im Anhang, während die Ra-Emanation bedeutend weniger lieferte. Die Werte dieser Versuche seien zusammengestellt und mit den Mittelwerten der Hauptversuche verglichen.

Tabelle I b gibt für Ra-Emanation:

bei Versuch	I	II
	14,00	13,84
	— 5,86	— 7,40
den Wert:	8,14 $\frac{\text{Volt}}{\text{min.}}$	und 6,44 $\frac{\text{Volt}}{\text{min.}}$.

Tabelle I a gibt für den Mittelwert für Ra-Emanation: 17,820 $\frac{\text{Volt}}{\text{min.}}$, also einen bedeutend höheren Wert.

Tabelle I b gibt für Th-Emanation:

bei Versuch	I	II
	19,92	19,52
	— 14,00	— 13,84
den Wert:	5,92 $\frac{\text{Volt}}{\text{min.}}$	und 5,68 $\frac{\text{Volt}}{\text{min.}}$.

Tabelle I a liefert als Mittelwert für Th-Emanation: 4,893 $\frac{\text{Volt}}{\text{min.}}$, also einen Wert, der nicht allzu sehr von den obigen Größen abweicht.

Alle diese Versuche wurden im Keller XII des hiesigen Physikalischen Instituts vorgenommen. Es wurden zwei Versuche mit veränderter Oberfläche angestellt. Nach dem zweiten Versuch wurde der Ziegel wieder eingemauert. Dann wurde wieder nach Art der Hauptversuche aktiviert. Die neue Beobachtung lieferte wieder die alten normalen Werte. Es ist der Versuch VI von Tabelle I a.

Durch Vergleich der angegebenen Werte für Ra- und Th-Emanation aus Tabelle I a und I b erkennt man die Richtigkeit obiger Überlegungen.

II. Versuche mit veränderter Pumpengeschwindigkeit.

Die aus den Kurven, bezw. Tabellen, berechnete Zahl der $\frac{\text{Volt}}{\text{min.}}$ für die Th-Emanation liefert noch kein direktes Maß für die Konzentration der Th-Emanation im Boden. Die Zahl muß reduziert werden. Zum Unterschied von der Ra-Emanation wird nämlich ein meßbarer Teil der Th-Emanation wegen ihrer kleinen Halbzeit abklingen, bevor sie in den Kondensator gelangt.

Der Betrag, um den die Th-Emanation abklingt, wird bestimmt sein durch die Zeit, die sie braucht, um vom Boden in den Kondensator zu gelangen und um sich im Kondensator aufzuhalten. Diese Zeit wird abhängen 1. von der Pumpengeschwindigkeit, 2. von den Dimensionen des Apparates. Sanderson[1]) hat eine Formel angegeben, die diese Faktoren berücksichtigt; sie soll im folgenden abgeleitet werden.

Es sei: n die mit Th im Gleichgewichte stehende Menge Th-Emanation in 1 ccm Erde, bezw. die entsprechende Zahl $\frac{\text{Volt}}{\text{min.}}$,

k_1 das Volumen des Rohres in der Erde und das Volumen der Verbindungsstücke Rohr — Kondensator,

k_2 das Volumen des Kondensators,

λ die Abklingungskonstante für Th-Emanation. $\lambda = 1{,}28\ 10^{-2}$ (sec.^{-1}),

q die Pumpengeschwindigkeit $\left(\frac{\text{ccm}}{\text{sec.}}\right)$,

N die im Kondensator gemessene Aktivität $\left(\frac{\text{Volt}}{\text{min.}}\right)$,

P die Porosität des Erdbodens $\left(\frac{\text{ccm Luft}}{\text{ccm Boden}}\right)$,

n wird gesucht.

---

[1]) Sanderson, loc. cit. S. 11.

Es ist dann:

$\frac{n}{P}$ die Menge Th-Emanation in 1 ccm Bodenluft. $\left(\text{bezw. ihre entsprechende Zahl } \frac{\text{Volt}}{\text{min.}}\right)$,

$\frac{k_1}{q}$ die Zeit, die vergeht, bis sie in den Kondensator eintritt nach dem Durchstreichen durch die Volumina, k_1 der Verbindungsstücke, ohne daß hierbei Wirbelbewegung auftritt.

Infolgedessen entspricht der Konzentration der Th-Emanation beim Eintritt in den Kondensator ein Abfall von $\frac{n}{P} e^{-\lambda \frac{k_1}{q}} \frac{\text{Volt}}{\text{min.}}$, gewissermaßen der Anfangswert N_0 für das Durchstreichen durch den Kondensator.

N selbst wird sich als ein Mittelwert beim Durchstreichen durch den Kondensator ergeben. Und zwar wird die gemessene Konzentration proportional sein:

$$N \sim \frac{1}{T} \int_0^T e^{-\lambda t} dt,$$

wo T die Zeit ist, die ein Luftteilchen zum Durchstreichen des Kondensators gebraucht, ohne daß Wirbelbewegungen im Gase eintreten; infolgedessen ist:

$$T = \frac{k_2}{q}.$$

Daher: $N \sim \frac{1}{\lambda T} (1 - e^{-\lambda T})$

$$\sim \frac{q}{\lambda k_2} \left(1 - e^{-\lambda \frac{k_2}{q}}\right)$$

Demnach:

$$\text{I.} \quad N = \frac{n}{P} \cdot \frac{q}{\lambda \cdot k_2} e^{-\lambda \frac{k_1}{q}} \left(1 - e^{-\lambda \frac{k_2}{q}}\right)$$

Hierin ist:

$k_1 =$ 360,90 (Verbindungsvolumina) + 234,25 (Rohrvolumen) = 595,15 ccm

$k_2 =$ 2855,10 ccm

$P =$ 0,425.

Aus der Berechnung ergibt sich für $N \frac{P}{n}$ folgendes:

0,25 739	bei	q	= 1	$\frac{l}{min.}$
0,48 329	„	q	= 2	„
0,60 947	„	q	= 3	„
0,68 705	„	q	= 4	„
0,73 892	„	q	= 5	„

Da die Hauptversuche mit einer Pumpengeschwindigkeit von $q = 3 \frac{l}{min.}$ ausgeführt werden, so hat der unterstrichene Wert die Hauptbedeutung.

Für $q = 3 \frac{l}{min.}$ ist demnach:

$$N \cdot \frac{P}{n} = 0{,}6095$$

d. h. n entspricht $\frac{0{,}425}{0{,}6095} N = 0{,}6973 N \left(\frac{Volt}{min.}\right)$. 0,6973 ist demnach der Faktor, mit dem die beobachtete Zahl N der $\frac{Volt}{min.}$ multipliziert werden muß, um die Zahl der $\frac{Volt}{min.}$ zu erhalten, die dem gesuchten n entspricht.

Experimentelle Prüfung der Gültigkeit der abgeleiteten Formel I.

Fig. 4.

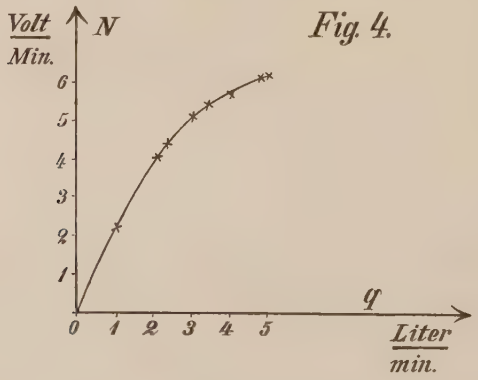


Tabelle II im Anhang und Figur 4 im Text zeigt die Übereinstimmung der von Sanderson abgeleiteten Formel mit den Versuchen.

Berechnet sind in dieser Figur die Ordinaten der ausgezogenen Kurve für $q = 1\,\frac{1}{\text{min.}}, 2\,\frac{1}{\text{min.}}, \ldots, 5\,\frac{1}{\text{min.}}$. Die Endpunkte sind verbunden worden.

Beobachtet sind die durch kleine Kreuze bezeichneten Punkte, von denen die meisten Mittelwerte aus mehreren Einzelbeobachtungen darstellen. Die Einzelbeobachtungen sind in Tabelle II des Anhangs niedergelegt.

Die Beobachtung ergab für N bei

$$q = 1\,\frac{1}{\text{min.}},\ 2\,\frac{1}{\text{min.}},\ 3\,\frac{1}{\text{min.}},\ 4\,\frac{1}{\text{min.}},\ 5\,\frac{1}{\text{min.}},$$

$$N = \quad 2{,}22,\quad 4{,}18,\quad \mathbf{5{,}156},\quad 5{,}70,\quad 6{,}23\ \frac{\text{Volt}}{\text{min.}}.$$

Ähnlich wie bei der Zeichnung der radioaktiven Abklingungskurve der Hauptversuche wurden die berechneten Werte, um die Übereinstimmung zu zeigen, mit einem solchen konstanten Faktor multipliziert, daß der berechnete Wert für $3\,\frac{1}{\text{min.}}$ mit dem aus der größten Anzahl von Beobachtungen gefundenen Werte für $3\,\frac{1}{\text{min.}}$ übereinstimmte. Dann ergibt sich für die berechneten, mit dem Faktor multiplizierten Werte folgendes:

$$\text{bei } q = 1\,\frac{1}{\text{min.}},\ 2\,\frac{1}{\text{min.}},\ 3\,\frac{1}{\text{min.}},\ 4\,\frac{1}{\text{min.}},\ 5\,\frac{1}{\text{min.}},$$

$$2{,}25,\quad 4{,}08,\quad \mathbf{5{,}156},\quad 5{,}84,\quad 6{,}23.$$

Man erkennt die gute Übereinstimmung zwischen Rechnung und Beobachtung (vgl. auch Figur II). Formel I gilt also.

Ausführung der Beobachtung.

Die Beobachtung geschah in folgender Weise: Der Kondensator wurde mit Bodenluft gefüllt und 3 Stunden lang stehengelassen, also so lange, bis die Ra-Emanation mit Ra-A, B, C im Gleichgewichte stand. Nach jeder halben Stunde wurde jedoch Bodenluft frisch hindurchgesaugt, um etwa entwichene Luft zu ersetzen. Nach 3 Stunden ließ man dann die Bodenluft mit konstanter Geschwindigkeit hindurchstreichen, etwa 5 Minuten lang. Während die Pumpe lief, wurde der Abfall pro Minute festgestellt. Darauf wurde die Pumpe mit einer vollen Minute abgestellt und 4 Minuten lang das Abklingen der Th-Emanation verfolgt. Die

Differenz aus Anfangs- und Endwert ergibt dann wie bei den Hauptversuchen den Betrag der Th-Emanation. Solche Versuche wurden für die Pumpengeschwindigkeiten im Zwischenraume zwischen $q = 1 \frac{l}{min.}$ und $q = 5 \frac{l}{min.}$ angestellt. Die Anordnung war dieselbe wie bei den Hauptversuchen.

Länge des Erdrohres.

Ähnliche Überlegungen wie diejenigen, die zur Sandersonschen Formel I führten, ergaben auch das Resultat, daß es nicht unbegründet ist, das Erdrohr nicht allzu kurz zu wählen. Wir machten es etwa $1^1/_2$ m lang. Dadurch wird erreicht, daß die größtmögliche Menge Th-Emanation aus dem Erdboden in den Kondensator gelangt. Denn der „Aktionsradius" des Rohres für das Heransaugen der Th-Emanation ist nicht unbeschränkt groß, hauptsächlich weil die Th-Emanation eine kleine Halbzeit hat. Was unter Aktionsradius zu verstehen ist, ergibt folgende Betrachtung.

Es werden die Luftteilchen, die vor Beginn des Ansaugens weit von den Löchern des Rohres entfernt liegen, bereits abgeklungen sein, ehe sie den Apparat erreichen. Ihre Aktivität in bezug auf die Th-Emanation geht also für die Messung verloren. Das Maximum, und damit, das ist hier die Hauptsache, einen konstanten Wert für die Th-Emanation bei einer bestimmten Pumpengeschwindigkeit erhält man, wenn das Rohr so lang gewählt wird, daß seine Länge größer ist als der Radius der Kugel, die ich um die Spitze des Rohres als Mittelpunkt schlage, und deren Oberfläche die Luftteilchen scheidet, die eben noch meßbare Th-Emanation enthalten, wenn sie in den Kondensator gelangen, und solche, deren Th-Emanation gerade eben abgeklungen ist. Der Radius dieser Kugel ist der Aktionsradius. Die Kugeln wachsen natürlich mit der Pumpengeschwindigkeit q. Für unsere größte Pumpengeschwindigkeit $q = 5 \frac{l}{min.} = 83{,}33 \ldots \frac{ccm}{sec.}$ ist das Volumen der Kugel

$$V = q \frac{T}{P}.$$

T ist hier die Anzahl der Sekunden, welche die Th-Emanation braucht, um praktisch vollkommen abzuklingen. Da die Halbzeit für Th-Emanation 53 Sekunden beträgt, so ist Th-Emanation auf $^1/_{16}$, d. h. praktisch vollkommen abgeklungen, für

$$T = 4 \times 53 \text{ sec.} = 212 \text{ sec.}$$

P ist die Porosität = 0,425.

Bezeichne ich den Aktionsradius für Th-Emanation und für $q = 5 \frac{l}{\text{min.}} = 83{,}3 \ldots \frac{\text{ccm}}{\text{sec.}}$ mit r, so ist andrerseits:

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3.$$

Es ergibt sich also:

$$\frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{q \cdot T}{P}.$$

Hieraus folgt:

$$r = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi} \frac{q \cdot T}{P}}$$

$$r = 21{,}490 \text{ cm}.$$

Durch die Länge unsres Rohres ist damit die für die Messung erforderliche Konstanz des Beitrages der Th-Emanation zur Gesamtaktivität sichergestellt. Ra-Emanation gelangt in jedem Falle in konstanter Menge in den Apparat wegen ihrer großen Halbzeit, weshalb ja auch ihr Abklingen während des Ansaugens ebenfalls nicht merkbar wird. Für die Ra-Emanation würde sich übrigens r ergeben zu 394,66 cm.

III. Eichungen.

a) Die Radiumeichung.

Als Vergleichssubstanz wurde eine Ra-Lösung aus der physikalisch-technischen Reichsanstalt benutzt. Die Lösung wurde mir durch die Freundlichkeit des Herrn Dr. W. Kolhörster verschafft, wofür ich ihm an dieser Stelle meinen herzlichsten Dank ausspreche. Die Lösung enthielt $2{,}92 \cdot 10^{-9}$ g Ra.

Zunächst wurde sie gekocht, der sie enthaltende Ballon dann zugeschmolzen und etwa 4 Wochen lang stehen gelassen. In dieser Zeit hatte sich das Ra mit seiner Emanation ins Gleichgewicht gesetzt. Nach dieser Zeit wurde die Lösung mit dem evakuierten Kondensator in Verbindung gebracht und die Lösung erhitzt. Darauf wurde der Anstieg der Aktivität im Kondensator beobachtet, 3 Stunden lang. Der Ballon war entfernt worden und die Hähne des Kondensators geschlossen. Dann wurde die Emanation durch einen Zimmerluftstrom aus dem Kondensator getrieben und der Abfall der Aktivität beobachtet. Nach weiteren 3 Stunden war der Versuch beendet. Figur 5 im Text und Tabelle III im Anhang veranschaulichen ihn. In Figur 5 des Textes stellt die ausgezogene Kurve die berechnete Idealkurve dar, die nach denselben Grundsätzen ermittelt wurde wie die Kurven der Hauptversuche. Die durch Kreuze gekennzeichneten Punkte entsprechen den Beobachtungen. Sie schmiegen sich gut der Idealkurve an. Nicht die ganze Menge Ra-Emanation, welche mit der in der Lösung enthaltenen Menge Ra im Gleichgewicht steht, gelangt zur Wirkung im Kondensator. In den Verbindungsvolumina zwischen Kondensator und Lösung verbleibt nämlich eine nicht unerhebliche Menge von Ra-Emanation. Sie ist bei der Rechnung zu berücksichtigen. Da die Lösung zum Kochen erhitzt wurde, so ist anzunehmen, daß keine Ra-Emanation in der Lösung zurückbleibt. Da ferner der Kondensator, bevor die Ra-Emanation eingeführt wurde, stark evakuiert war, so ist anzunehmen, daß nach dem Öffnen des Kondensatorhahnes eine gleichmäßige Verteilung von Ra-Emanation in den Volumina.

Kondensator, Verbindungsstücke, Raum des Ballons über der Lösung, stattfindet. Wir erhalten dann die Menge radioaktiver Substanz, die der am Kondensator gemessenen Emanationsaktivität

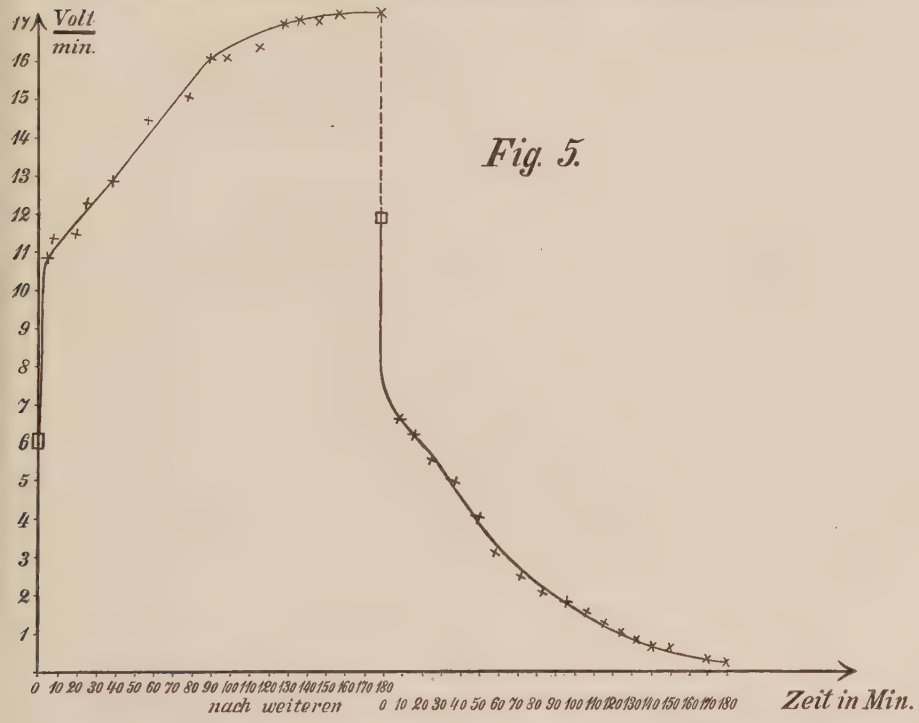


Fig. 5.

entspricht, d. h. also gewissermaßen die reduzierte Menge radioaktiver Substanz m, durch Multiplikation der $2{,}92 \cdot 10^{-9}$ g Ra mit dem Quotienten:

$$Q = \frac{\text{Vol}_{\text{condensator}}}{\text{Vol}_{\text{condensator}} + \text{Verbindungen} + \text{Ballonluft über der Lösung.}}$$

Nun war:

$$\text{Vol}_{\text{condensator}} = 2855{,}1 \text{ ccm}$$

$\text{Vol}_{\text{Verbindungen}} = 13{,}164$ [Luftvolumina der Schlauchverbindungen $= \left(\frac{0{,}6}{2}\right)^2 \pi\,(11{,}5 + 10{,}5 + 14{,}0 + 9{,}5)$]

$+ 259{,}940$ [Volumen der Glasrohre und des Glaswollebehälters $= \left(\frac{1{,}8}{2}\right)^2 \pi\,(18 + 11 + 10) + 135$]

$\text{Vol}_{\text{Verbindungen}} = 273{,}104$ ccm.

$Vol_{\text{Ballonluft über der Lösung}} = 140{,}00$ ccm $(= 250 - 110)$

Daher:

$Vol_{\text{condensator + Verbindungen + Ballonluft über der Lösung}} = 3268{,}204$ ccm

Deshalb:

$$Q = \frac{2855{,}1}{3268{,}2}$$

Demnach die reduzierte Menge radioaktiver Substanz:

$$m = 2{,}92 \cdot \frac{2855{,}1}{3268{,}2} \cdot 10^{-9} \text{ g Ra}$$

$$m = 2{,}4928 \cdot 10^{-9} \text{ g Ra.}$$

Aus Tabelle III des Anhangs finden wir, daß die mit m im Gleichgewicht stehende Emanationsmenge einen Ausschlag von $17{,}27 - 11{,}55 = 5{,}72 \frac{\text{Volt}}{\text{min.}}$ zustande bringt.

Es entspricht also einem Ausschlag von

$1 \frac{\text{Volt}}{\text{min.}}$ eine Menge von $\frac{2{,}49}{5{,}72} \cdot 10^{-9}$ g Ra

d. h. $1 \frac{\text{Volt}}{\text{min.}}$ „ „ „ $4{,}3580 \cdot 10^{-10}$ g Ra.

Nun verteilt sich aber die Emanation, die mit $4{,}3580 \cdot 10^{-9}$ g Ra im Gleichgewicht steht, auf das Volumen des Kondensators, d. h. auf 2855,10 ccm. Demnach entspricht dem Ausschlag $1 \frac{\text{Volt}}{\text{min.}}$ eine Konzentration F_1 von $\frac{4{,}3580}{2855{,}10} \cdot 10^{-10} \frac{\text{g Ra}}{\text{ccm Bodenluft}}$,

$$\text{d. h. } F_1 = 1{,}5299 \cdot 10^{-13} \frac{\text{g Ra}}{\text{ccm Bodenluft}},$$

oder falls wir die Porosität des Bodens zu 0,425 nehmen, dann entspricht $1 \frac{\text{Volt}}{\text{min.}}$

eine Konzentration F_1' von $\frac{4{,}3580}{2855{,}10} \cdot 0{,}425 \cdot 10^{-10} \frac{\text{g Ra}}{\text{ccm Boden}}$,

$$\text{d. h. } F_1' = 6{,}5022 \cdot 10^{-14} \frac{\text{g Ra}}{\text{ccm Boden}}.$$

Mit F_1 bezw. F_1' sind die Zahlen der $\frac{\text{Volt}}{\text{min.}}$ für Ra-Emanation der Hauptversuche zu multiplizieren, um das Ra-Aequivalent für 1 ccm Boden, bezw. für 1 ccm Bodenluft zu erhalten.

Als Mittelwert für die Ra-Emanation hatte sich aus den Hauptversuchen die Zahl $17{,}820 \frac{\text{Volt}}{\text{min.}}$ ergeben, deshalb ist das Ra-Aequivalent für

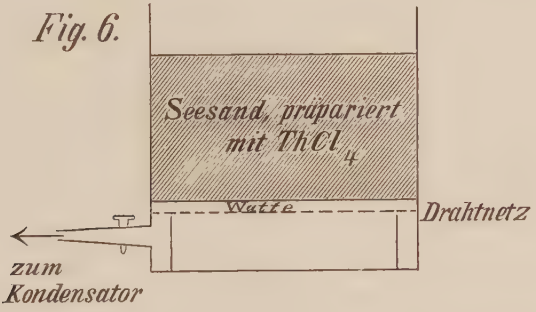
1 ccm Bodenluft $2{,}7263 \cdot 10^{-12}$ g Ra,
1 ccm Boden $1{,}1587 \cdot 10^{-12}$ g Ra.

b) Die Thoriumeichung.

Als Eichmaterial wurde Thorit, ThO_2 benutzt. Das Mineral ließ mir Herr Geheimrat Dorn auf Rat von Herrn Prof. Boeke aus Norwegen kommen. Beiden Herren danke ich hiermit im besonderen. Untersucht wurde das Mineral durch Herrn Dr. Strube, Assistent am hiesigen chemischen Institut. Die Analyse, für die ich diesem Herrn ebenfalls zu großem Dank verpflichtet bin, ergab einen Gehalt von 35,1 % Th.

Mehrere Stücke des Gesteins wurden nun im Mörser zerrieben, vermengt und dann gebeutelt. Etwa 0,1 g des gebeutelten Thorits wurde gelöst in konzentrierter HCl, die Lösung

Fig. 6.



wurde samt den ungelösten Resten mit Seesand, etwa 1000 ccm, vermengt. Die Neutralität des Seesandes war vorher festgestellt worden. Durch die salzsaure Lösung wurde das Thorium in Form von $ThCl_4$ auf jedes einzelne Sandkorn in feiner gelatinöser Schicht gebracht, die sicher so dünn war, daß man annehmen kann, alle Th-Emanation, die wirklich in dem Präparat erzeugt wird, wird auch emaniert und gelangt tatsächlich zur Wirkung.

In dieser Weise suchte man der Forderung der größten Emanationsfähigkeit gerecht zu werden. Blanc[1]) benutzt bei seinen quantitativen Th-Untersuchungen das am stärksten emanierende Mineral $Th(OH)_4$. Hier wurde ebenfalls ein stark emanierendes Material benutzt und gleichzeitig nach dem Vorgange

[1]) Blanc, loc. cit. S. 9.

Sandersons die Beobachtung dieses Forschers verwertet, daß die Emanationskraft zum größten Teil abhängt von der Konstitution der emanierenden Oberfläche.

Dieser so präparierte Sand wurde nun in ein zylinderförmiges Metallgefäß gebracht und zwar auf ein mit Watte überdecktes Drahtnetz gelegt, so wie es Figur 6 des Textes angibt. An Stelle des Erdrohres wurde jetzt dieser Apparat mit dem Kondensator in Verbindung gebracht.

Beobachtet wurde folgendermaßen:

Die Pumpe wurde angestellt und mit bestimmter Geschwindigkeit laufen gelassen, etwa 5 Minuten lang. Die Aktivität, die nach diesen 5 Minuten beobachtet wurde, rührte her von Th-Emanation, da ja keine Ra-Zerfallsprodukte in Betracht kommen und der feste Th-Beschlag sich sehr langsam bildet. Dann wurde die Pumpe mit einer vollen Minute abgestellt und 4 Minuten lang das Abklingen der Th-Emanation verfolgt. Die Differenz aus Anfangs- und Endaktivität gibt dann den Eichungsbetrag der Th-Emanation. Auch bei diesen Versuchen wurde wie früher die Pumpgeschwindigkeit variiert im Intervall $1 - 5 \frac{l}{\text{min.}}$. Denn auch hier ist der Abfall der Th-Emanation in den Apparaten zu berücksichtigen.

Ist das Volumen des mit dem präparierten Th-Sand angefüllten Teiles des zylindrischen Gefäßes k_3, ist $\overline{P}$ die Porosität des Sandes, und ist $\overline{n}$ der Gehalt von 1 ccm Sand an Th, so ergibt sich aus ähnlichen Überlegungen wie bei Formel I der Versuche II für die gemessene Th-Aktivität $\overline{N}$ die Formel:

$$\text{II.} \quad \overline{N} = \frac{\overline{n}}{\overline{P}} \cdot \frac{q}{\lambda k_2} \cdot e^{-\frac{\lambda k_1}{q}} \left(1 - e^{-\frac{\lambda k_2}{q}}\right)\left(1 - e^{-\frac{\lambda k_3}{q}}\right).$$

Formel II geht aus Formel I hervor, wenn wir für n in Formel I hier setzen $\overline{n}\left(1 - e^{-\frac{\lambda k_3}{q}}\right)$. $\overline{n}$ ist hier bei diesen Versuchen aus der Analyse des Thorits bekannt.

Das Auftreten dieses Faktors erklärt sich folgendermaßen:

Unter der Voraussetzung, daß die Konzentration des Th-Präparates an Th-Emanation durch das Durchsaugen nicht geändert wird, gilt wie überall im Innern des Präparates, so auch an seiner unteren Begrenzungsfläche die Überlegung: es muß die

abgeklungene Menge Th-Emanation gleich der hinzugeführten Menge sein. Die hinzugeführte Menge wird geliefert durch die Zufuhr von Th-Emanation aus den oberen Schichten. Mit dieser Menge tritt der Luftstrom in das Verbindungsrohr und nimmt seinen Weg dann in den Kondensator.

Ist nun die Konzentration im Th-Präparat $\overline{n}$, so ist nach dem Durchstreichen durch den mit Th-Sand gefüllten Behälter die Aktivität auf $\overline{n}\ e^{-\lambda t}$ gesunken, wo $t = \frac{k_3}{q}$ die Zeit ist, die zum Durchstreichen durch diesen Teil erforderlich ist. Abgeklungen ist daher: $\overline{n}\left(1-e^{-\lambda \frac{k_3}{q}}\right)$. Diese abgeklungene Menge ist unter Annahme des stationären Zustandes gleich der neu zugeführten, d. h. gleich der in das Verbindungsrohr eintretenden Menge. Daher tritt an Stelle von n in Formel I hier nur $\overline{n}\left(1-e^{-\lambda \frac{k_3}{q}}\right)$. Die übrigen Glieder in Formel II bleiben formal dieselben wie in Formel I.

In Formel II war:

$k_1 = 547{,}19$ ccm

$k_3 = 950.32$ „

$\overline{P}$, ebenso bestimmt wie bei Versuchen II, aus 3 Beobachtungen $= 0{,}465$.

Alle übrigen Größen in der Formel II waren bis auf $\overline{n}$ dieselben wie in Formel I.

Aus der Berechnung ergibt sich für $\overline{N} \cdot \frac{\overline{P}}{\overline{n}}$:

1,1579	für	q = 1	$\frac{1}{\text{min.}}$
1,0366	„	„ = 2	„
0,83756	„	„ = 3	„
0,7172	„	„ = 4	„
0,6405	„	„ = 5	„

Der unterstrichene Wert für q = 3 $\frac{1}{\text{min.}}$ ist natürlich auch wieder der Hauptwert.

Für q = 3 $\frac{1}{\text{min.}}$ ist also:

$$\overline{N}\ \frac{\overline{P}}{\overline{n}} = 0{,}83756.$$

Andrerseits war beobachtet:

$$\overline{N} = 9{,}15 \frac{\text{Volt}}{\text{min.}}. \quad \text{(Tabelle IV.)}$$

Die Größe $\overline{n}$ ergibt sich aus folgenden Angaben: Es waren 0,12690 g Thorit mit 950,32 ccm neutralen Seesand vermengt. Das Thorit enthielt 35,1 % Th.

$\overline{n}$ entspricht also einer Konzentration von:

$$\frac{0{,}12690 \cdot 0{,}351}{950{,}32} \quad \frac{\text{g Th}}{\text{ccm Sand}}.$$

Aus Vergleich zwischen Rechnung und Beobachtung ergibt sich: Dem Abfall von $\frac{9{,}15.\ 0{,}465.\ 950{,}32}{0{,}12690.\ 0{,}351} \frac{\text{Volt}}{\text{min.}}$ entspricht eine Konzentration von 0,83756 $\frac{\text{g Th}}{\text{ccm Sand}}$.

Daher entspricht dem Abfall von

1 $\frac{\text{Volt}}{\text{min.}}$ eine Konzentration von $\frac{0{,}83756.\ 0{,}12690.\ 0{,}351}{0{,}465.\ 9{,}15.\ 950{,}32} \frac{\text{g Th}}{\text{ccm Sand}}$,

oder

$$1 \frac{\text{Volt}}{\text{min.}} \text{ entspricht } 9{,}2187.\ 10^{-6} \frac{\text{g Th}}{\text{ccm Erde}}.$$

Zur Umrechnung der aus den Hauptversuchen gefundenen Zahl der Volt/min. für die Th-Emanation ist also einmal zu beachten, daß die Zahl der Volt/min. nach Versuchsgruppe II zu reduzieren ist. Das geschieht durch Multiplikation mit dem dort gefundenen Faktor 0,69733.

Um die so reduzierte Zahl Volt/min. nun noch umzurechnen in $\frac{\text{g Th}}{\text{ccm Boden}}$, ist dann noch zu multiplizieren mit $9{,}2187.\ 10^{-6}$.

Um also die abgelesene Zahl Volt/min. umzurechnen in $\frac{\text{g Th}}{\text{ccm Boden}}$, ist zu multiplizieren mit dem Faktor:

$$F_2' = 0{,}69733 \cdot 9{,}2187 \cdot 10^{-6}$$
$$F_2' = 6{,}4285\ \ 10^{-6}.$$

Soll die Zahl der Volt/min. reduziert werden auf $\frac{\text{g Th}}{\text{ccm Bodenluft}}$, so erhält man den Faktor:

$$F_2 = \frac{1}{0{,}60947} \cdot 9{,}2187 \cdot 10^{-6}$$

$$F_2 = 1{,}5126 \cdot 10^{-6}.$$

Aus den Hauptversuchen hatte sich nun als Mittel für die Th-Emanation ergeben:

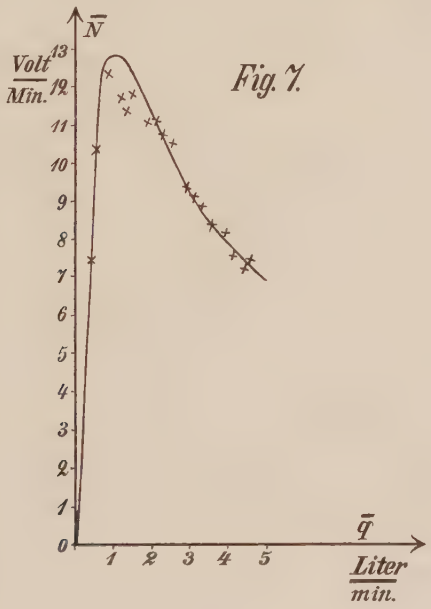
$$4{,}893 \ \frac{\text{Volt}}{\text{min.}}.$$

Mittels F_2 bezw. F_2' erhält man das Th-Äquivalent für:

1 ccm Bodenluft zu $7{,}4012 \cdot 10^{-5}$ g Th,

1 ccm Boden zu $3{,}1455 \cdot 10^{-5}$ g Th.

Um die Richtigkeit von Formel II zu prüfen, benutze man Tabelle IV im Anhang und Figur 7 im Text. Sie sind ebenso



Figur 7.

entstanden wie Tabelle II und Fig. 4 des Textes. Eine weitere Angabe über ihre Bedeutung ist daher überflüssig. Die Unstimmigkeiten zu Anfang bei kleinen Pumpengeschwindigkeiten erklären sich vielleicht so, daß unsre Annahme einer während des Durchsaugens durchgängigen Konstanz von $\bar{n}$ für kleine Pumpen-

geschwindigkeiten nicht zutreffend ist. Wahrscheinlich klingt mehr ab als zugeführt wird, so daß die Werte von $\overline{N}$ für kleine Pumpengeschwindigkeiten kleiner ausfallen als sie der Formel entsprechen.

IV. Versuche an anderen Stellen.

Die Hauptversuche wurden mit derselben Anordnung unter Beibehaltung der Dimensionen der Apparate an anderen Stellen wiederholt. Herr Prof. Haecker erlaubte mir, in einem Keller des hiesigen Zoologischen Instituts zu arbeiten, wofür ich diesem Herrn an dieser Stelle ebenfalls meinen herzlichsten Dank ausspreche. Das Ergebnis dieser Versuche veranschaulicht Tabelle V bezw. Figur II im Anhang. Der Boden dieses Kellers bestand aus aufgefülltem Bauschutt, die Oberfläche war betoniert.

Dann wurde noch eine andere Stelle gewählt. Es kam der Maschinenraum des Physikalischen Instituts in Frage. Der Boden hier war Sandlöß, die Oberfläche wurde gebildet durch Mauersteine wie in Keller XII. Die Versuche sind in Tabelle VI bezw. Figur III im Anhang niedergelegt.

An beiden Stellen wurden je drei übereinstimmende Hauptversuche vorgenommen. Sie ergaben bedeutend niedrigere Werte als die Hauptversuche im Keller XII, dessen hohe Zerstreuung bereits von anderer Seite beobachtet und untersucht wurde. Unter sich stimmen die Versuche im Keller des Zoologischen Instituts ebenso wie die im Maschinenraum gut überein. Sie lieferten das Normal von Halle a. S., zumal die Stellen dieser Untersuchungen nicht allzu nahe beieinanderliegen. Im folgenden seien aus Tabelle V und VI die Mittelwerte für Ra- und Th-Emanation angegeben, durch Multiplikation mit $F_1, F_1', F_2 F_2'$, dann die Ra- bezw. Th-Aequivalente für 1 ccm Bodenluft bezw. Boden.

Als Porositat war bei diesen Versuchen dieselbe Zahl wie bei den Hauptversuchen angenommen worden, $P = 0{,}425$, um die gefundenen Werte der Aktivitäten miteinander in Vergleich setzen zu können. Eine Bestimmung dieser Größe nach der bei

den Hauptversuchen in Keller XII angegebenen Methode wie z. B. bei den Versuchen im Keller des Zoologischen Instituts sehr schwer gewesen, da ja dessen Oberfläche, wie schon angegeben, aus Beton bestand.

Es ergab sich:

a) für den Keller im Zoologischen Institut:

Versuch	I	II	III
Ordinate in D	9,47	9,45	9,45
„ „ E	5,90	6,02	6,00
Beitrag der Ra-Emanation	3,57	3,43	3,45

1. als Mittelwert für Ra-Emanation $3{,}483 \frac{\text{Volt}}{\text{min.}}$

als Ra-Aequivalent: $5{,}3286 \cdot 10^{-13} \frac{\text{g Ra}}{\text{ccm Bodenluft}}$,

$2{,}2642 \cdot 10^{-13} \frac{\text{g Ra}}{\text{ccm Boden}}$.

Versuch	I	II	III
Ordinate in C	11,40	11,45	11,15
„ „ D	9,47	9,45	9,45
Beitrag der Th-Emanation	1,93	2,00	1,70

2. als Mittelwert für Th-Emanation $1{,}877 \frac{\text{Volt}}{\text{min.}}$

als Th-Aequivalent: $2{,}8391 \cdot 10^{-5} \frac{\text{g Th}}{\text{ccm Bodenluft}}$,

$1{,}2066 \cdot 10^{-5} \frac{\text{g Th}}{\text{ccm Boden}}$.

b) für den Maschinenraum:

Versuch	I	II	III
Ordinate in D	10,13	9,94	10,05
„ „ E	6,65	6,65	6,65
Beitrag der Ra-Emanation	3,48	3,29	3,40

1. als Mittelwert für Ra-Emanation $3{,}390 \frac{\text{Volt}}{\text{min.}}$

als Ra-Aequivalent: $5{,}1864 \cdot 10^{-13} \frac{\text{g Ra}}{\text{ccm Bodenluft}}$,

$2{,}2042 \cdot 10^{-13} \frac{\text{g Ra}}{\text{ccm Boden}}$.

Versuch	I	II	III
Ordinate in C	12,63	12,54	12,55
„ „ D	10,13	9,94	10,05
Beitrag der Th-Emanation	2,50	2,60	2,50

2. als Mittelwert für Th-Emanation 2,533 $\frac{\text{Volt}}{\text{min.}}$

als Th-Aequivalent: $3{,}8314 \cdot 10^{-5} \frac{\text{g Th}}{\text{ccm Bodenluft}}$,

$1{,}6284 \cdot 10^{-5} \frac{\text{g Th}}{\text{ccm Boden}}$.

V. Vergleich der Erdergebnisse mit den Ergebnissen anderer Beobachtungen.

Um unsre Ergebnisse mit denen andrer Beobachter vergleichen zu können, erfolge eine Zusammenstellung der gefundenen, auf 2 Stellen hinter dem Komma abgerundeten Werte.

Es hatte sich ergeben:

a) für Keller XII:

Ra-Aequivalent: $2{,}73 \cdot 10^{-12} \frac{\text{g Ra}}{\text{ccm Bodenluft}}$,

$1{,}16 \cdot 10^{-12} \frac{\text{g Ra}}{\text{ccm Boden}}$.

Th-Aequivalent: $7{,}40 \cdot 10^{-5} \frac{\text{g Th}}{\text{ccm Bodenluft}}$,

$3{,}15 \cdot 10^{-5} \frac{\text{g Th}}{\text{ccm Boden}}$.

b) für den Keller im zoologischen Institut:

Ra-Aequivalent: $5{,}33 \cdot 10^{-13} \frac{\text{g Ra}}{\text{ccm Bodenluft}}$,

$2{,}26 \cdot 10^{-13} \frac{\text{g Ra}}{\text{ccm Boden}}$.

Th-Aequivalent: $2{,}84 \cdot 10^{-5} \frac{\text{g Th}}{\text{ccm Bodenluft}}$,

$1{,}21 \cdot 10^{-5} \frac{\text{g Th}}{\text{ccm Boden}}$.

c) für den Maschinenraum:

Ra-Aequivalent: $5{,}19 \cdot 10^{-13} \frac{\text{g Ra}}{\text{ccm Bodenluft}}$,

$2{,}20 \cdot 10^{-13} \frac{\text{g Ra}}{\text{ccm Boden}}$.

Th-Aequivalent: $3{,}83 \cdot 10^{-5} \frac{\text{g Th}}{\text{ccm Bodenluft}}$,

$1{,}63 \cdot 10^{-5} \frac{\text{g Th}}{\text{ccm Boden}}$.

Sanderson[1]) findet für New Haven:

$8{,}9 \cdot 10^{-14}$, abgerundet $1 \cdot 10^{-13} \frac{\text{g Ra}}{\text{ccm Boden}}$,

und $1{,}35 \cdot 10^{-6} \frac{\text{g Th}}{\text{ccm Boden}}$.

Meine Werte für den Ra-Gehalt würden der Größenordnung nach mit dem von Sanderson[1]) übereinstimmen, wenn ich nur die unter b und c, also diejenigen, welche für das Normal von Halle in Frage kommen, berücksichtige.

Joly[2]) findet für Ra das Hundertfache des Sandersonschen Wertes, für Th jedoch nur das Zehnfache, also rund $1 \cdot 10^{-5} \frac{\text{g Th}}{\text{ccm Boden}}$; d. h. für den Th-Gehalt eine Zahl, die mit meinen Versuchsergebnissen der Größenordnung nach übereinstimmt.

Blanc,[3]) der die Gartenerde in Rom untersuchte, findet $1{,}45 \cdot 10^{-5} \frac{\text{g Th}}{\text{ccm Boden}}$, einen Wert, der ebenfalls der Größenordnung nach mit meinen Werten übereinstimmt.

Strutt,[4]) der hauptsächlich den Ra-Gehalt von vielen Gesteinen gesucht hat, findet als Extremwerte:

a) für Eruptivgesteine: 0,30 und $4{,}78 \cdot 10^{-12} \frac{\text{g Ra}}{\text{ccm Gestein}}$,

b) für Sedimentgesteine: 0,12 und $2{,}92 \cdot 10^{-12} \frac{\text{g Ra}}{\text{ccm Gestein}}$.

In diese Intervalle fallen ebenfalls unsere Werte aus den Versuchen im Keller XII.

---

[1]) Sanderson, loc. cit. S. 10.

[2]) Joly, Phil. Mag. (6) **18**, 140; 1909.

[3]) Blanc, loc. cit. S. 9.

[4]) Strutt, loc. cit. S. 9.

C. Zusammenfassung der Ergebnisse.

1. Es wurde der Boden von Halle a. S. auf seine Ra- und Th-Aktivität hin untersucht.

   Als Mittel für Halle ergab sich aus 2 Versuchsgruppen (Keller des zoolog. Instituts und Maschinenraum; Keller XII wurde nicht berücksichtigt.)

   a) das Ra-Aequivalent: $2{,}23 \quad 10^{-13} \frac{\text{g Ra}}{\text{ccm Boden}}$,

   b) das Th-Aequivalent: $1{,}42 \cdot 10^{-5} \frac{\text{g Th}}{\text{ccm Boden}}$.

   Als Methode wurde die von Sanderson angegebene benutzt.
2. Es wurden Versuche mit veränderter Oberfläche vorgenommen. Hierbei ergab sich, daß durch diese Veränderung die Th-Emanation nicht, die Ra-Emanation in ihrer Konzentration sehr beeinträchtigt wird.
3. Es wurden die Voraussetzungen angegeben, unter welchen die Sandersonsche Formel für die Th-Eichung abgeleitet wurde. Unsere Beobachtungen ergaben ziemlich geringfügige Unstimmigkeiten mit der Rechnung bei kleinen Pumpgeschwindigkeiten. Diese Unstimmigkeiten konnten gedeutet werden.

2. und 3. ergab sich gewissermaßen nebenbei. Das Hauptaugenmerk war auf 1. gerichtet. Bei 1. fand ich Werte, die der Größenordnung nach mit den Ergebnissen anderer Beobachtungen (Joly, Blanc, Strutt) verglichen werden konnten.

Zum Schluß ist es mir eine angenehme Pflicht, Herrn Geh. Regierungsrat Prof. Dr. Dorn für die freundliche Anregung zu dieser Arbeit, für sein stetes Interesse an ihrem Gelingen und für seine liebenswürdige Hilfe bei Überwindung von Schwierigkeiten herzlichst zu danken.

Tabelle Ia. **Versuche im Keller XII** des physikalischen Instituts zu Halle a. S.

Zerstreuung in $\frac{\text{Volt}}{\text{min.}}$

Gleichmäßige Oberfläche
konstante Pumpengeschwindigkeit.

Zeit der Aktivierung bezw. Entaktivierung	Versuch I 10. X. — 14. X. 13	Versuch II 15. X. — 19. X. 13	Versuch III 20. X. — 24. X. 13	Versuch IV 25. X. — 29. X. 13	Versuch V 30. X — 3. XI. 13	Versuch VI 2. V. — 6. V. 14.	Entsprechende Kurvenpunkte (vgl. Fig. Ia Anhang)
Anstieg							
0 Min.	25,28 (extrapoliert)	23,20 (extrapoliert)	21,60 (extrapoliert)	24,40 (extrapoliert)	25,20 (extrapoliert)	24,00 (extrapoliert)	A
10 „	29,68	29,00	26,40	26,80	29,40	28,56	
20 „	30,22	29,60	28,32	28,88	30,00	29,76	
30 „	31,20	30,00	29,20	29,44	30,84	30,56	
40 „	31,68	30,60	30,52	29,60	31,60	—	
50 „	32,96	31,40	31,32	30,22	32,56	32,52	
60 „	34,20	32,40	31,12	30,72	33,70	34,40	
70 „	34,48	33,12	32,40	32,52	34,00	34,08	
80 „	35,40	—	—	33,44	35,36	35,08	
90 „	36,64	34,96	33,36	33,96	—	35,96	
100 „	37,60	35,28	33,20	34,16	36,80	—	
110 „	37,64	35,52	—	34,00	—	36,48	
120 „	37,56	35,60	33,80	34,48	—	—	
130 „	37,60	—	—	—	—	38,12	
140 „	—	35,92	—	34,48	—	—	
150 „	37,60	35,96	34,00	34,52	37,52	38,00	B
n. weiteren 11 Std.	42,00 (n. 8 Std.)	37,80 (n. 5 Std.)	37,52 (n. 4 Std.)	38,84 (n. 8 Std.)	40,32 (n. 5 Std.)	41,28 (n. 8 Std.)	
22 „	43,56	39,00 („ 10 „)	40,24	41,44 („ 27 „)	—	—	
33 „	44,48	41,40 („ 29 „)	41,12	—	43,60 („ 29 „)	41,20 („ 24 „)	
44 „	44,72	42,40	41,28	41,80	44,40	43,20	C

Der Bodenluftstrom wurde abgestellt.

n. weiteren 1 Min.	42,08 (extrapoliert)	39,20 (extrapoliert)	—	40,00	41,20 (extrapoliert)	—	(Die Werte C-D liefern den Beitrag der Th-Emanation).
2 „	41,16	38,00 „	37,44 (extrapoliert)	—	40,64	—	
3 „	40,48 „	37,40 „	36,64 „	38,40 (extrapoliert)	40,20	37,60	
4 „	40,40	37,20	35,72	37,60	39,92	37,60	D

Die Bodenluft wurde ausgetrieben und durch Zimmerluft ersetzt.

Abfall

n. weiteren 0 Min.	22,40 (extrapol.)	20,00 (extrapol.)	18,32 (extrapol.)	20,00 (extrapol.)	21,60 (extrapol.)	19,20 (extrapol.)	E
„ 10 „	16,00	15,00	13,20	15,48	15,80	15,40	[Die Werte D-E liefern den Beitrag der Ra-Emanation].
„ 20 „	16,48	14,48	12,56	13,96	16,00	14,08	
„ 30 „	15,92	14,00	12,68	12,80	15,04	13,16	
„ 40 „	14,40	13,40	12,20	12,60	14,04	12,84	
„ 50 „	14,60	12,60	10,96	12,56	13,80	11,44	
„ 60 „	13,60	11,76	10,92	11,16	12,80	—	
„ 70 „	13,20	11,28	10,20	10,44	11,92	10,08	
„ 80 „	12,48	—	10,08	10,00	11,60	9,44	
„ 90 „	12,20	10,48	9,12	9,36	10,60	9,00	
„ 100 „	11,40	9,92	—	—	10,08	—	
„ 110 „	10,84	9,40	8,60	8,56	9,52	9,00	
„ 120 „	10,40	9,00	8,28	8,56	9,60	—	
„ 130 „	10,32	9,00	8,00	8,56	9,52	8,88	
„ 140 „	10,40	—	8,00	8,56	9,52	—	
„ 150 „	10,28	8,92	8,00	8,56	9,52	8,88	F
n. weiteren 11 Std.	7,36 (n. 8 Std.)	6,96 (n. 8 Std.)	4,16 (n. 8 Std.)	5,96 (n. 6 Std.)	7,28	—	
22 „	4,60	4,40	2,16	4,88	4,64	3,88	
33 „	4,00 („ 30 „)	—	1,76	3,60	4,00	—	
44 „	3,72	2,40	1,68	3,36	2,40	2,20	G

Die „natürliche Zerstreuung" betrug: (—) 1,47 (—) 1,80 (—) 1,94 (—) 1,64 (—) 1,53 (—) 2,00

Anmerkung: Der Zeit nach fallen zwischen Versuche V u. VI dieser Tabelle die Versuche von Tabelle Ib.

Tabelle Ib.

Versuche im Keller XII mit veränderter Oberfläche.

Zerstreuung in $\frac{\text{Volt}}{\text{min.}}$.

Zeit der Aktivierung bezw. Entaktivierung	Versuch I 15. I. — 19. I. 14.	Versuch II 22. I. — 25. I. 14.	Entsprechende Kurvenpunkte (vgl. Fig. II Anhang)
Anstieg: 5 Min.	16,88	17,16	A
10 „	16,84 (n. 15 Min. 17,80)	16,36	
20 „	(n. 25 „ 20,26)	17,08 (n. 15 Min. 17,04)	
30 „	21,72	18,16 (n. 25 „ 18,20)	
40 „	21,68 (n. 35 „ 21,24)	20,68 (n. 45 „ 19,20)	
50 „	(n. 45 „ 21,92)	20,24 (n. 55 „ 18,76)	
60 „	23,32 (n. 55 „ 23,32)	20,88	
70 „	22,20	19,88	
80 „	21,96	19,80	
90 „	21,96	19,60	
100 „	21,92	19,40	
110 „	21,92	20,20 (n. 105 Min. 19,88)	
120 „	22,24	20,68	
130 „	22,44	20,70	
150 „	22,72	20,72	B
nach weiteren 11 Std.		21,04 (n. $\frac{3}{2}$ Std.	
„ „ 22 „	20,04 (n. 18 Std.)	20,92 (n. 20 Std.	
„ „ 33 „	20,52 (n. 24 Std.)		
„ „ 44 „	19,52 (n. 45 Std.)	19,92 (n. 45 Std.	C
Der Bodenluftstrom wurde abgestellt.			
nach weiteren 1 Min.	16,20	16,80	[Die Werte C-D liefern den Beitrag der Th-Emanation]
„ „ 2 „	14,48		
„ „ 3 „		14,04	
„ „ 4 „	13,84	14,00 (n. 5 Min.)	D
Die Bodenluft wurde ausgetrieben und durch Zimmerluft ersetzt.			
nach weiteren 0 Min.	7,40 (extrapoliert)	5,86 (extrapoliert)	E
„ „ 10 „	6,00 (n. 5 Min. 7,48)	3,88 (n. 5 Min. 4,64)	[Die Werte D-E liefern den Beitrag der Ra-Emanation]
„ „ 20 „	(n. 15 „ 6,00)	3,96 (n. 15 „ 3,68)	
„ „ 30 „	(n. 25 „ 6,00)	4,00	
„ „ 40 „	(n. 35 „ 5,12)		
„ „ 50 „	5,04 (n. 45 „ 4,96)	3,60	
Abfall: „ „ 60 „	4,80		
„ „ 70 „	4,40		
„ „ 80 „	4,00		
„ „ 90 „	3,40		
„ „ 100 „		3,28	
„ „ 110 „	3,28		
„ „ 120 „			
„ „ 130 „	3,28		
„ „ 140 „			
„ „ 150 „	3,24	3,20	F
nach weiteren 11 Std.			
„ „ 22 „	1,00 (n. 18 Std.)	1,68	
„ „ 33 „			
„ „ 44 „	0,00	0,04 (u. 45 Std.)	G
Die „natürliche Zerstreuung“ betrug:	(—) 1,69	(—) 1,69	

Tabelle II.

Änderung des Beitrags der Thoriumemanation zur Gesamtaktivität mit der Pumpengeschwindigkeit.

Berechnete Werte × konst. Faktor	Pump.-Geschw.	Beobachtungen im einzelnen		Mittelwerte der Beobachtungen	
	liter/min.	Volt/min.	liter/min.	Volt/min.	liter/min.
2,25	1	2,20 2,24 2,22	1	2,22	1,0
4,12	2	3,90 3,90 3,80 3,87	1,9	3,87	1,9
5,156	**3**	5,00 5,10 5,30 5,30 5,08 5,156	3	**5,156**	**3,0**
5,84	4	5,55 5,90 5,55 5,70	3,5 4	5,55 5,70	3,5 4,0
6,27	5	6,40 6,00 6,20	4,9	6,20	4,9

Berechnung — Beobachtung

Tabelle III.

Radium-Eichung.

Zeit nach dem Einführen der Ra-Emanation	Abfall	Anstieg der Aktivität	Zeit nach dem Austreiben der Ra-Emanation	Abfall	Abklingen der Aktivität
min.	Volt/min.		min.	Volt/min.	
0	**6,10** (extra-poliert)		0	**11,55** (extra-poliert)	
10	11,00		10	6,57	
20	11,22		20	6,17	
30	12,22		30	5,08	
40	12,98		40	—	
50	13,57		50	3,97	
60	14,47	infolge	60	3,07	infolge
70	14,67		70	2,57	
80	15,08	Bildung	80	2,22	Abklingen
90	15,65	von	90	1,85	von
100	16,25		100	1,45	
110	16,27	Ra-A, B, C	110	1,11	Ra-A, B, C
120	16,55		120	0,90	
130	17,05		130	0,70	
140	17,15		140	0,50	
150	17,15		150	0,50	
160	17,27		160	0,32	
180	**17,27**		180	0,30	
Nach dieser Zeit wurde die Ra-Emanation herausgetrieben					

Die „natürliche Zerstreuung“ betrug 1,78 $\frac{\text{Volt}}{\text{min.}}$

Anmerkung: Die Differenz der fett gedruckten Werte entspricht dem Beitrag der Ra-Emanation zur Aktivität.

Tabelle IV.

Eichung der Thoriumemanation.

Berechnete Werte × konst. Faktor	Pump.-Geschw.	Beobachtungen im einzelnen		Mittelwerte der Beobachtungen	
	liter/min.	Volt/min.	liter/min.	Volt/min.	liter/min.
12,85	1	8,2 8,6 8,4	0,5	8,40	0,5
		10,3	0,6	10,30	0,6
		12,3	0,9	12,30	0,9
11,33	2	11,8	1,2	11,80	1,2
		11,1 11,5 11,9 11,5	1,3	11,50	1,3
		11,7 11,9 11,8	1,5	11,80	1,5
		11,5 11,5 11,5	1,9	11,50	1,9
		11,6 11,1 11,35	2,0	11,35	2,0
9,23	3	10,7	2,3	10,70	2,3
		10,2 10,8 10,5	2,4	10,50	2,4
		9,6 9,6 10,8 10,0	2,6	10,00	2,6
		9,8 9,8 9,7 9,7 9,75	2,7	9,75	2,7
		9,2 9,1 9,15	3,0	9,15	3,0

Berechnung — Beobachtung

Fortsetzung von **Tabelle IV.**

Berechnete Werte × konst. Faktor	Pump.-Geschw.	Beobachtungen im einzelnen		Mittelwerte der Beobachtungen	
	liter/min.	Volt/min.	liter/min.	Volt/min.	liter/min.
7,91	4	9,2 9,0 9,1	3,1	9,10	3,1
		8,8 8,8 9,2 8,93	3,3	8,93	3,3
		8,5	3,5	8,50	3,5
		8,0 8,7 8,7 8,47	3,7	8,47	3,7
7,01	5	7,67	4,1	7,67	4,1
		7,3 7,4 7,35	4,4	7,35	4,4
		7,5 7,7 7,2 7,7 7,52	4,5	7,52	4,5

Berechnung — Beobachtung

Tabelle V.

Versuch in einem Keller des zoologischen Instituts zu Halle a. S.

Zerstreuung in $\frac{\text{Volt}}{\text{min.}}$

Zeit der Aktivierung bezw. Entaktivierung	Versuch I 26.VI. - 30.VI. 14	Versuch II 1.VII. - 5.VII. 14	Versuch III 5.VII. - 9.VII. 14	Entsprechende Kurvenpunkte (vgl. Fig. II Anhang)
0 Min.	5,20 (extrapoliert)	5,40 (extrapoliert)	5,50 (extrapoliert)	A
10 „	6,32 (n. 15 Min.)	7,50	7,35 (n. 15 Min.)	
20 „	6,82 (n. 25 Min.)	7,50	7,85 (n. 25 Min.)	
30 „	7,92	8,05	7,75	
40 „	8,32 (n. 45 Min.)	8,20	8,55	
50 „	—	8,40	—	
60 „	8,47	8,80	—	
70 „	8,87	9,05	8,85	
80 „	9,32	9,35	9,25	
90 „	9,77	—	—	
100 „	—	9,85	9,30	
110 „	—	9,80	—	
120 „	9,97	10,10	9,70	
130 „	9,99	10,20	—	
140 „	9,99	—	9,90	
150 „	9,99	10,20	9,90	B
n. weiteren 11 Std.	10,77 (n. 195 Min.)	10,85 (n. 10 Std.)	10,50 (n. 9 Std.)	
22 „	11,17 (n. 20 Std.)	11,15	10,85 (n. 25 Std.)	
33 „	11,37	—	11,20 (n. 35 Std.)	
44 „	11,40	11,45	11,15	C
Der Bodenluftstrom wurde abgestellt.				
n. weiteren 1 Min.	10,62	10,00	10,40	
2 „	10,12 (extrapol.)	—	—	
3 „	10,12	—	9,75	
4 „	9,47 (extrapol.)	9,45	9,45 (extrapol.)	D
Die Bodenluft wurde ausgetrieben und durch Zimmerluft ersetzt.				
n. weiteren 0 Min.	5,90 (extrapoliert)	6,02 (extrapoliert)	6,00 (extrapoliert)	E
10 „	4,07	3,80	4,05	
20 „	3,78	3,60	4,05	
30 „	3,52	3,60	3,65	
40 „	3,17	3,20	3,15	
50 „	2,97	2,90	2,65 (n. 60 Min.)	
60 „	2,70	2,80	2,15 (n. 75 Min.)	
70 „	1,97 (n. 75 Min.)	2,00	2,05 (n. 85 Min.)	
80 „	—	1,85	—	
90 „	2,07	1,85	—	
100 „	1,72	—	1,65	
110 „	1,52 (n. 115 Min.)	1,20	1,65	
120 „	1,52	—	1,35	
130 „	1,52	—	1,35	
140 „	1,50	—	1,35	
150 „	1,50	1,20	1,35	F
n. weiteren 11 Std.	—	—	—	
22 „	0,27 (n. 25 Std.)	0,33 (n. 24 Std.)	0,35 (n. 24 Std.)	
33 „	—	0,15 (n. 32 Std.)	—	
44 „	0,00	0,05 (n. 45 Std.)	0,00 (n. 45 Std.)	G
Die „natürliche Zerstreuung“ betrug:	(—) 1,53	(—) 1,70	(—) 1,85	

Tabelle VI.

Versuche im Maschinenkeller des Physikalischen Instituts zu Halle a. S.

Zerstreuung in $\frac{\text{Volt}}{\text{min.}}$.

Zahl der Aktivierung bezw. Entaktivierung	Versuch I 30.VII.-3.VIII.14.	Versuch II 20.II.-24.2.15.	Versuch III 25.II.-1.III.15.	Entsprechende Kurvenpunkte (vgl. Fig. III Anhang)
0 Min.	6,00 (extrapol.)	6,00 (extrapol.)	6,00 (extrapol.)	A
10 „	7,28	8,14	7,85	
20 „	8,13	8,39	7,90	
30 „	8,28	8,49	8,15	
40 „	8,63	8,64	8,75	
50 „	9,23	8,84	8,70	
60 „	9,43	9,14	9,10	
70 „	9,68	9,39	9,25	
80 „	9,88	9,54	9,90	
90 „	9,99		9,90	
100 „	10,18	9,94	10,15	
110 „	10,18	10,34	10,40	
120 „	10,28		10,40	
130 „	10,28		10,45	
140 „	10,28			
150 „	10,28	10,40	10,45	B
n. weiteren 11 Std.		11,24 (n. 6 Std.)	11,50 (n. 9 Std.)	
„ 22 „	12,08 (n. 20 Std.)	11,94 (n. 25 Std.)	12,15 (n. 25 Std.)	
„ 33 „	12,28 (n. 27 Std.)	12,34 (n. 29 Std.)	12,30 (n. 31 Std.)	
„ 44 „	12,63 (n. 45 Std.)	12,54	12,55 (n. 45 Std.)	C
Der Bodenluftstrom wurde abgestellt.				
n. weiteren 1 Min.	10,33	11,19	11,10	
„ 2 „			10,25	
„ 3 „		10,79		
„ 4 „	10,13	9,94	10,05	D
Die Bodenluft wurde ausgetrieben und durch Zimmerluft ersetzt.				
n. weiteren 0 Min.	6,65 (extrapol.)	6,65 (extrapol.)	6,65 (extrapol.)	E
„ 10 „	4,68	4,74	4,65	
„ 20 „	4,38	4,29	4,20	
„ 30 „	3,98	4,29	3,80	
„ 40 „	3,98	3,84	3,80	
„ 50 „	3,68	3,44	3,30	
„ 60 „	3,18	3,34	3,30	
„ 70 „	3,03		3,00	
„ 80 „	2,88	2,89	2,65	
„ 90 „	2,73	2,89	2,65	
„ 100 „	2,68	2,19	2,65	
„ 110 „				
„ 120 „	2,48	2,14	2,20	
„ 130 „	2,40		2,10	
„ 140 „	2,40	2,06	2,10	
„ 150 „	2,40	2,06	2,10	F
n. weiteren 11 Std.	1,52 (n. 6 Std.)	1,24 (n. 10 Std.)		
„ 22 „	0,53 (n. 23 Std.)	0,99 (n. 26 Std.)	0,28 (n. 26 Std.)	
„ 33 „			0,19 (n. 34 Std.)	
„ 44 „	0,33	0,09 (n. 45 Std.)	0,00 (n. 45 Std.)	G
Die „natürl. Zerstreuung“ betrug:	(—) 0,87	(—) 0,71	(—) 0,80	

Fig. I°
Apparatur.

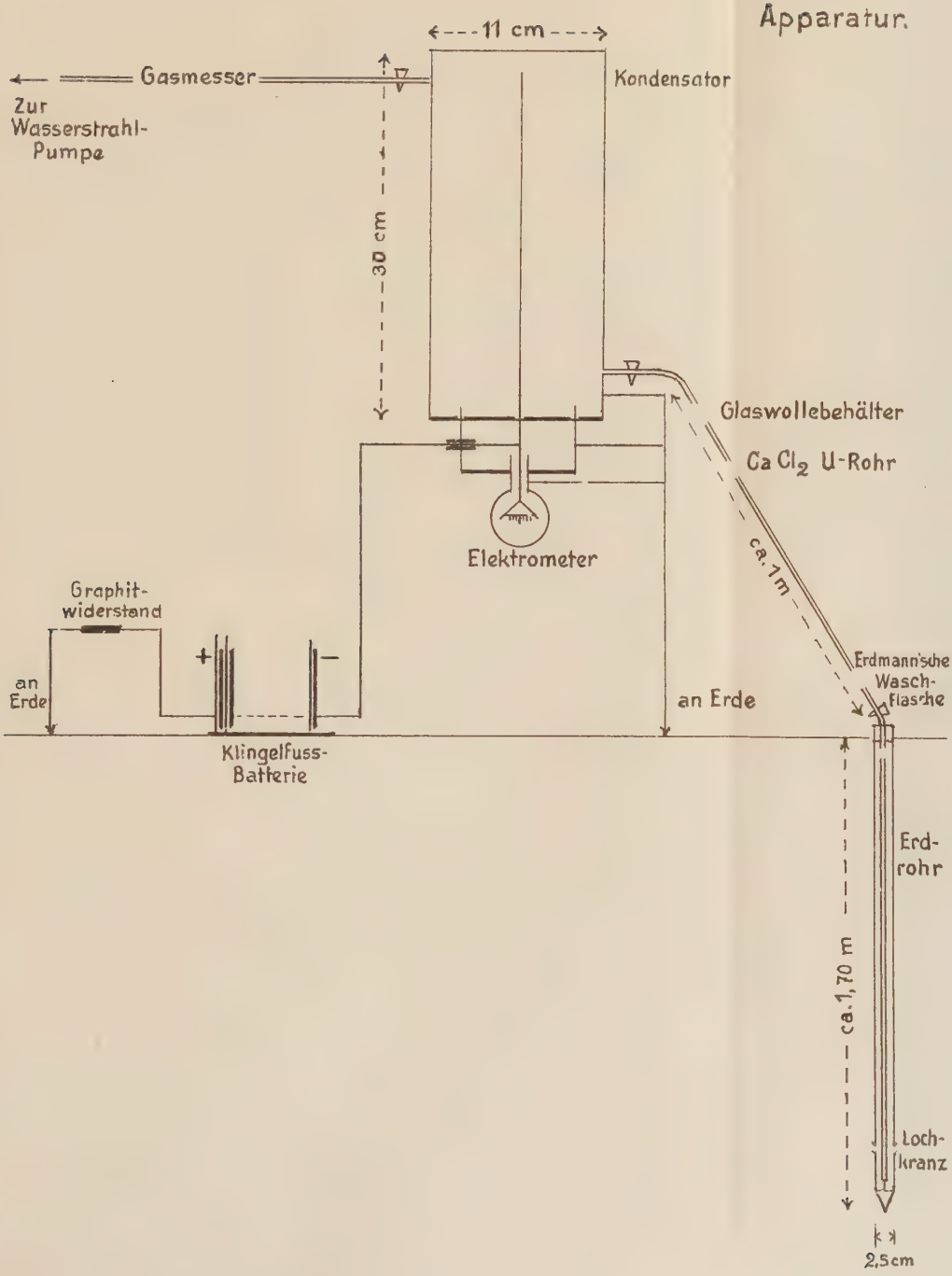
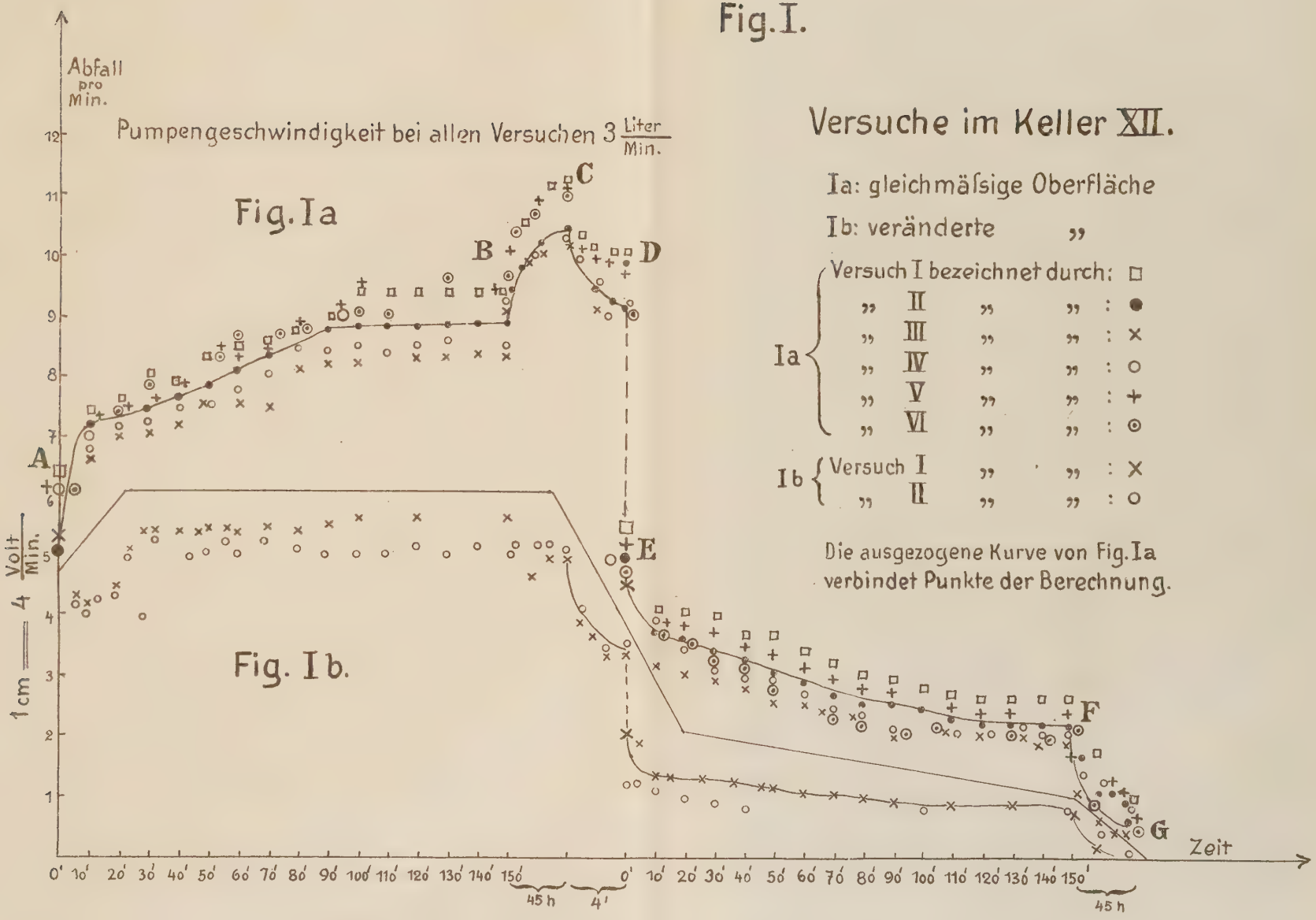


Fig. I.



Versuche im Keller XII.

Ia: gleichmäßige Oberfläche

Ib: veränderte „

Ia { Versuch I bezeichnet durch: □
„ II „ „ : ●
„ III „ „ : ×
„ IV „ „ : ○
„ V „ „ : +
„ VI „ „ : ⊙

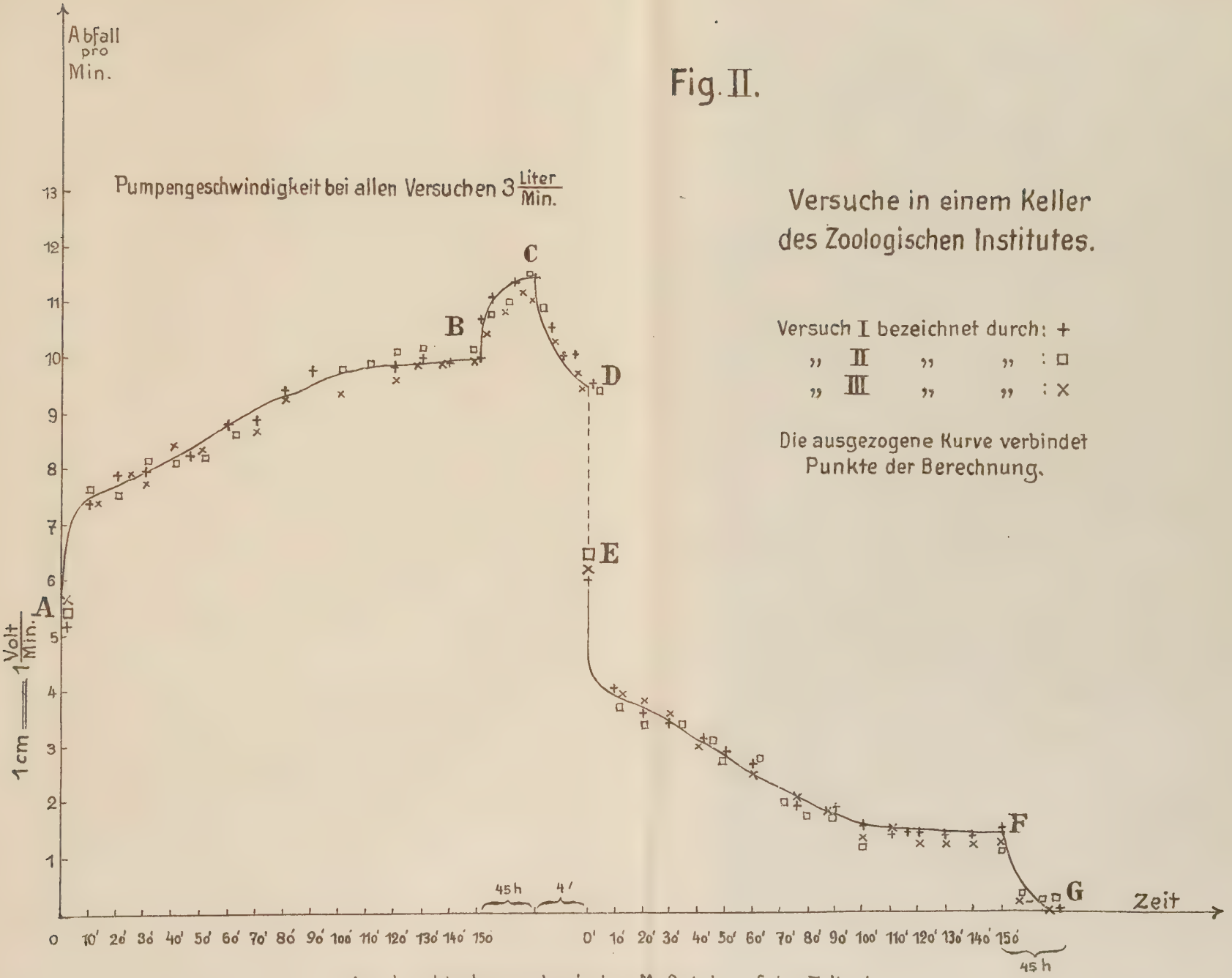
Ib { Versuch I „ „ : ×
„ II „ „ : ○

Die ausgezogene Kurve von Fig. Ia verbindet Punkte der Berechnung.

Man beachte den wechselnden Maßstab auf der Zeitachse.

' bedeutet Minute
h „ „ Stunde

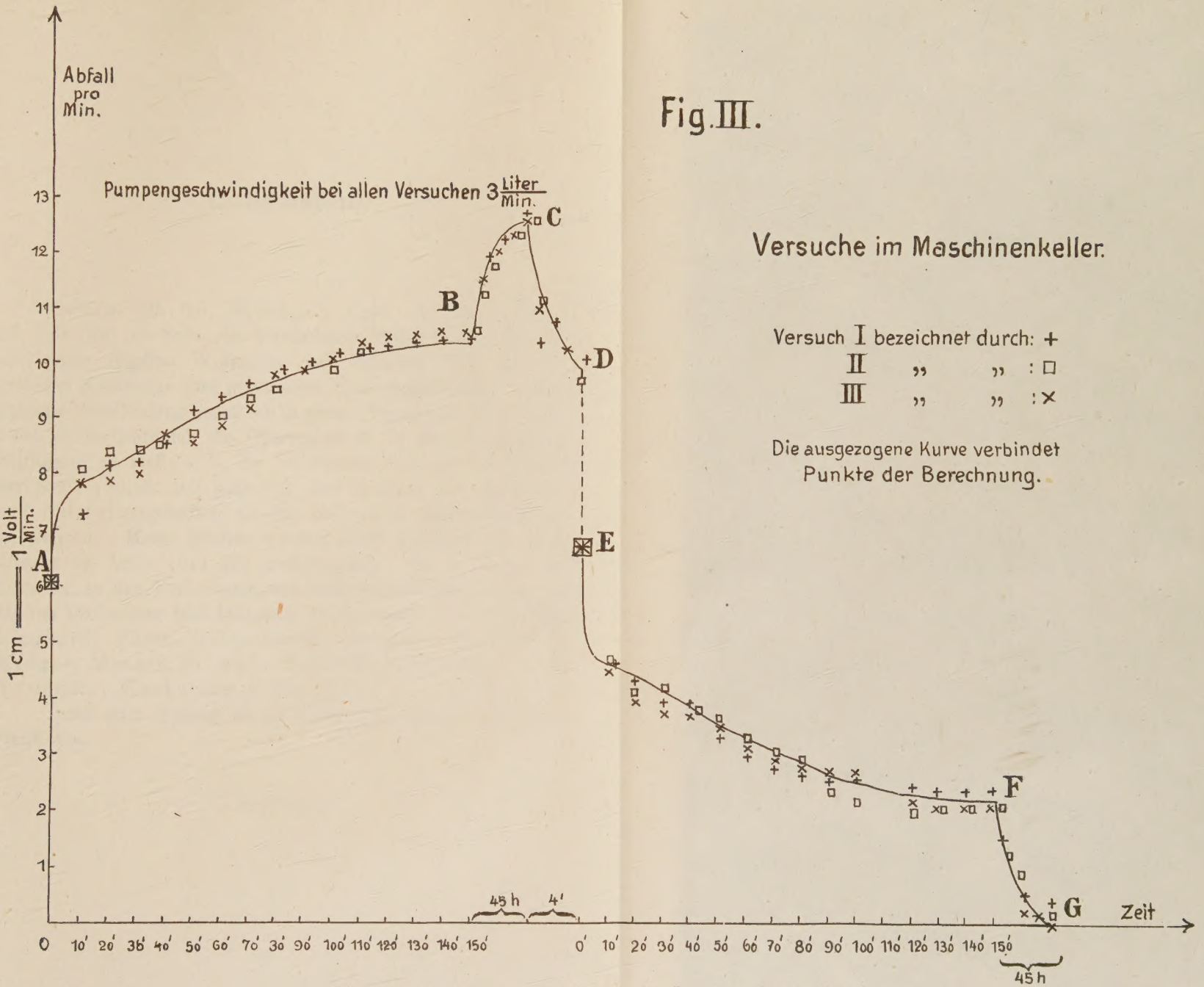
Fig. II.



Man beachte den wechselnden Maßstab auf der Zeitachse.

' bedeutet Minute
h „ „ Stunde

Fig. III.



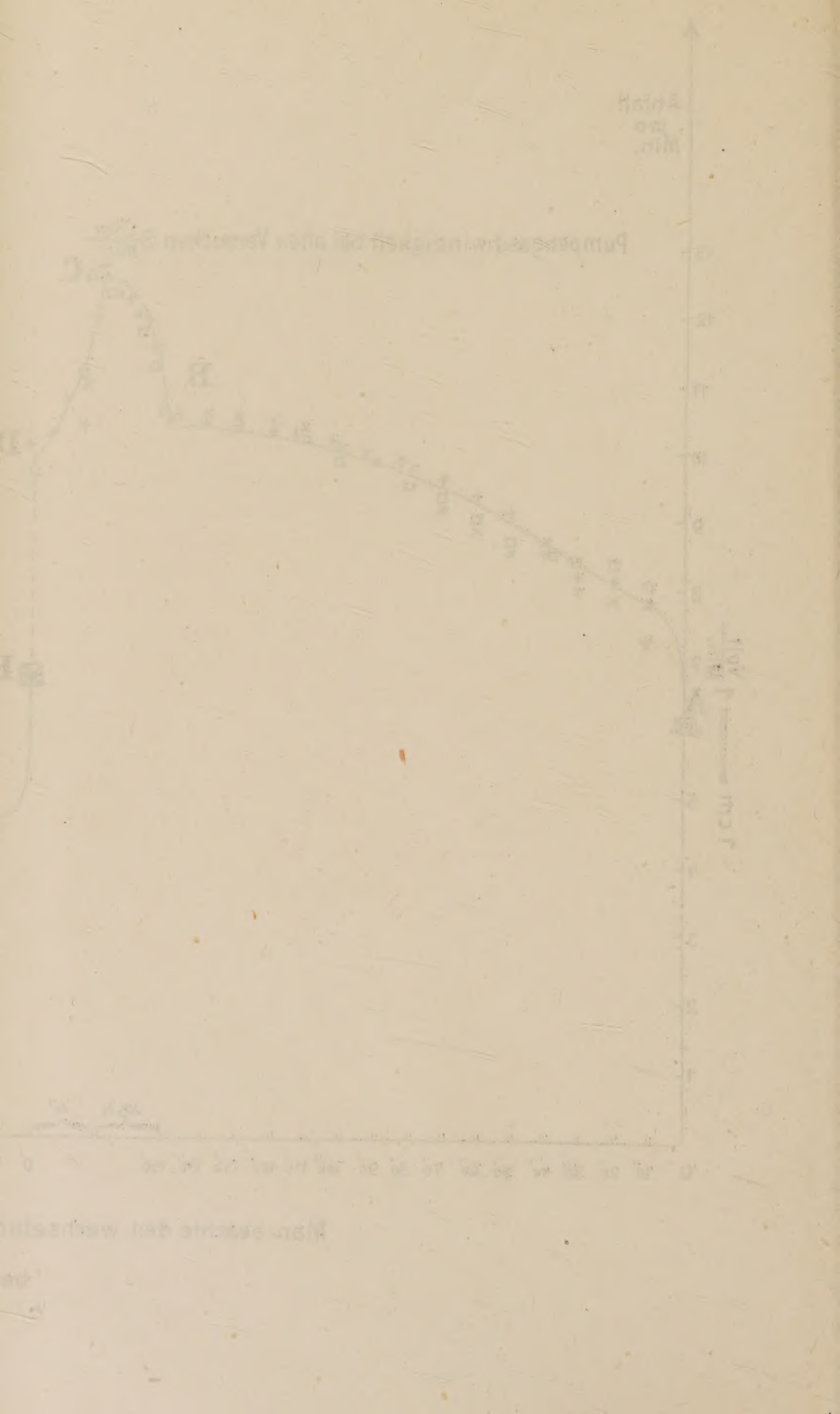
Versuche im Maschinenkeller.

Versuch I bezeichnet durch: +
II „ „ : □
III „ „ : ×

Die ausgezogene Kurve verbindet Punkte der Berechnung.

Man beachte den wechselnden Maßstab auf der Zeitachse.

' bedeutet Minute
h „ „ Stunde.



Lebenslauf.

Geboren bin ich, Friedrich Viol, in Halle a. S. am 28. Juli 1891 als Sohn des verstorbenen Malermeisters Carl Viol und seiner Ehefrau Wilhelmine geb. Bönicke. Ich bin evangelischer Konfession und preußischer Staatsangehörigkeit. Meine gesamte Schulbildung genoß ich in meiner Vaterstadt. Von Ostern 1904 ab besuchte ich die Oberrealschule in den Franckeschen Stiftungen zu Halle a. S., die ich Ostern 1910 mit dem Zeugnis der Reife verließ, um mich mit dem Studium der Mathematik und Naturwissenschaften an der Universität Halle-Wittenberg zu widmen. Meine Studien wurden durch Ausbruch des Weltkrieges im Jahre 1914 jäh unterbrochen. Bis zu dieser Zeit hatte ich an den Vorlesungen und praktischen Übungen folgender Herren Professoren und Dozenten teilgenommen: Boeke, Dorn, Eberhard, Fries, Goldschmidt, Gutzmer, Kauffmann, Krüger, Menzer, Schmidt, Stammler, Tubandt, Uphues, Vorländer, Wackernagel, Wangerin.

Ihnen allen spreche ich an dieser Stelle meinen ergebensten Dank aus.